

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Dřevařské inženýrství



**Konstrukční návrh mostní konstrukce z lepeného
lamelového dřeva**

Diplomová práce

Autor: Bc. Jaroslav Eder

Vedoucí práce: Ing. Miloš Pavelek, Ph.D.

2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jaroslav Eder, DiS.

Dřevařské inženýrství

Dřevařské inženýrství

Název práce

Konstrukční návrh mostní konstrukce z lepeného lamelového dřeva

Název anglicky

Construction design of the bridge structure made of glued laminated timber

Cíle práce

Cílem práce je konstrukční návrh dřevěné lávky z lepeného lamelového dřeva pro pochozí účely přes řeku Otavu. Součástí návrhu bude zasazení celého objektu do okolního prostředí ve Velkých Hydčicích. Hlavním cílem práce je vytvoření výrobní a montážní dokumentace. Dále bude v práci uvedeno zhodnocení pořizovacích nákladů na materiál, výrobu a montáž dle aktuálních cen s výsledným porovnáním nákladů na vyhotovení s původní ocelovou lávkou.

Metodika

1. Úvod – Vybrané dřevěné mostní stavby v ČR a zahraničí, historický vývoj konstrukcí a používaných materiálů.
2. Volba typu konstrukce, materiálu a lokality.
3. Lokace: Velké Hydčice – okolí, dopravní infrastruktura a klimatické podmínky.
4. Konstrukční návrh objektu mostu – estetická, uživatelská a společenská hlediska, vizualizace.
6. Naplánování výroby, dopravy a montáže lávky – vypracování montážních výkresů a postupu montáže
7. Ekonomické zhodnocení pořizovaných nákladů na materiál a výrobu dle současných cen s výsledným tabulkovým porovnáním s náklady na vyhotovení původní ocelové lávky.
8. Shrnutí a závěr.

Doporučený rozsah práce

50-60 normostran textu plus výkresové přílohy

Klíčová slova

Dřevěná lávka, přemostění řeky Otavy, výrobní dokumentace, montážní dokumentace

Doporučené zdroje informací

BLASS, H. J. et al. (1995), "Timber Engineering STEP 1", Centrum Hout, The Netherlands.
DOLEJŠ, Jakub a Pavel RYJÁČEK. Ocelové mosty: cvičení. 3., přeprac. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2013. ISBN 9788001052228.
CHEN, Wai-Fah a Lian DUAN. Bridge engineering handbook. Second edition. ISBN 9781439852071.
JOSEF, Dušan. Dřevěné mosty v České a Slovenské republice. Brno: Brnokonsult, 2008. ISBN 978-80-904227-1-1.
KUKLÍK P., Timber Structures 1, Nakladatelství ČVUT, Praha, 2007, ISBN 978-80-01- 03614-3
KUKLÍK, P. (2002) "Timber Structures 10". CTU Prague, ISBN 80-01-02639-6.
METTEM, C. J. Timber bridges. New York, NY: Routledge, 2011. ISBN 978-0-415-57796-0.

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Miloš Pavelek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Konzultant

Ing. Tomáš Gergel', Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 25. 2. 2020

Ing. Radek Rinn
Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 27. 2. 2020

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.
Děkan

V Praze dne 11. 03. 2020

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma Konstrukční návrh mostní konstrukce z lepeného lamelového dřeva vypracoval samostatně pod vedením

pana Ing. Miloše Pavelka, Ph.D. a vycházel jsem pouze ze zdrojů a pramenů, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že zveřejněním práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.“

V dne

.....

Podpis autora

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat vedoucímu práce panu Ing. Miloši Pavelkovi, Ph.D. a odborným konzultantům Ing. Tomáši Gergel'ovi, Ph.D. a panu Ing. Michalovi Bošanskému za cenné rady při zpracování práce. Dále bych rád poděkoval vedení obce Velké Hydčice za spolupráci a poskytnuté materiály.

Abstrakt

Práce se zabývá návrhem dřevěné mostní konstrukce pro chodce a cyklisty jakožto součást fungující cyklostezky v konkrétní lokalitě. Konstrukce lávky je situována v obci Velké Hydčice, která leží při řece Otavě mezi městy Sušice a Horažďovice. Lávka v tomto místě tvoří důležité spojení mezi obcemi Malé Hydčice na levém břehu a Velké Hydčice na břehu pravém. Po vyhodnocení podmínek, požadavků a možností vzájemných se na konkrétní území byla navržena lávka obloukové konstrukce se zavěšenou spodní mostovkou. Nová lávka je uložena na dvou železobetonových pilířích, které původně sloužily pro uložení původní ocelové lávky z roku 2007. Jako materiál na nosné oblouky, zavěšení a rám mostovky bylo navrženo lepené lamelové dřevo. Pro vyhotovení konstrukce zábradlí a konstrukce zavětrování byly navrženy sušené a hoblované modřínové hranoly. Pochozí vrstvu mostovky tvoří sušené a hoblované dubové fošny. Průřezy všech prvků lávky byly navrženy jako předpokládané, bez statického posouzení, pouze pro účely této práce. Práce je zaměřena na návrh konstrukce s vyhotovením 3D modelu v programu SEMA pro výrobu všech prvků konstrukce na CNC obráběcím centru Hundegger K2i a vyhotovení montážních výkresů konstrukce pro sestavení a usazení nosné konstrukce lávky včetně popisu nadcházejících truhlářských prací. Při konstrukčním návrhu byl kladen důraz na použitý materiál, ochranu zvoleného materiálu a na to přímo navazující životnost konstrukce jako celku. Na závěr byla vypracována cena díla s cenovým porovnáním s původní ocelovou lávkou a s celkovým zhodnocením nové konstrukce.

Klíčová slova

konstrukční návrh, dřevěná mostní konstrukce, výrobní dokumentace, oblouková konstrukce

Abstract

The thesis deals with the design of a wooden bridge structure for pedestrians and cyclists as part of a functioning cycle path in a specific location. The construction of the footbridge is situated in the village of Velké Hydčice, which lies by the river Otava between the towns of Sušice and Horažďovice. The footbridge at this point forms an important connection between the villages of Malé Hydčice on the left bank and Velké Hydčice on the right bank. After evaluating the conditions, requirements and possibilities related to a specific area, a footbridge of the arch structure with a suspended lower bridge deck was designed. The new footbridge is placed on two reinforced concrete pillars, which originally served to store the original steel footbridge from 2007. Glued laminated timber was designed as the material for the supporting arches, suspension and bridge deck frame. Dried and planed larch prisms were designed for the construction of railings and reinforcing constructions. The walkable layer of the bridge deck consists of dried and planed oak planks. The cross-sections of all elements of the footbridge were designed as assumed, without static assessment, only for the purposes of this thesis. The thesis is focused on the design of the structure with the creation of a 3D model in the SEMA program for the production of all structural elements on the CNC machine Hundegger K2i and the preparation of assembly drawings of the structure for assembling and installing the supporting structure of the footbridge including a description of the upcoming carpentry work. During the structural design, emphasis was placed on the material used, the protection of the selected material and the directly related service life of the structure as a whole. In the end, the price of the work was prepared with a price comparison with the original steel footbridge and with the overall evaluation of the new structure.

Keywords

construction plan, wooden bridge construction, production documentation, arch bridge construction

Obsah

1	Úvod	15
2	Cíle Práce	17
3	Literární přehled	18
3.1	Historie dřevěných mostních konstrukcí.....	18
3.1.1	Dřevěné lávky po světě	19
3.1.2	Dřevěné lávky v České republice.....	23
3.2	Používané materiály, typy konstrukcí, spoje a spojovací materiály	25
3.2.1	Vývoj používaných materiály pro dřevěné mostní konstrukce.....	25
3.2.2	Vývoj navrhování mostních konstrukcí	26
3.2.3	Historicky používané konstrukční spoje	27
3.3	Současné dřevěné lávky a mosty.....	27
3.3.1	Materiály používané na konstrukce dřevěných mostů a lávek	28
3.3.2	Používané typy konstrukcí pro dřevěné lávky a mosty.....	33
3.3.3	Užívané konstrukční spoje a spojovací prostředky	40
4	Metodika	45
5	Lokalita konstrukce	46
5.1	Vybraná lokalita lávky	46
5.1.1	Konkrétní umístění konstrukce	48
6	Podklady a požadavky pro návrh lávky	49
6.1	Hydrotechnické podmínky	49
6.2	Geotechnické podmínky.....	50
6.3	Klimatické podmínky a provoz.....	50
6.4	Dopravní infrastruktura	51
7	Konstrukční návrh lávky	51
7.1	Volba vhodného typu konstrukce.....	51
7.2	Návrh příčného profilu lávky	53

7.3	Návrh konstrukce zábradlí	54
7.4	Konstrukce přístupových ramp	55
7.5	Nutné úpravy blízkého okolí lávky	55
7.6	Základní návrh konstrukce	55
7.6.1	Návrh dimenzí.....	57
7.6.2	Použité materiály.....	57
7.7	Návrh konstrukčních prvků lávky	58
7.7.1	Nosné oblouky lávky	58
7.7.2	Podélné nosníky mostovky	60
7.7.3	Svislé pruty pro zavěšení mostovky.....	61
7.7.4	Horní a spodní konstrukce zavětrování.....	62
7.7.5	Horní vrstva mostovky.....	63
7.7.6	Konstrukce zábradlí	64
7.7.7	Spodní stavba	65
7.7.8	Spojovací prostředky.....	66
7.8	Ochrana dřeva	68
7.8.1	Konstrukční ochrana lávky	69
7.8.2	Chemická ochrana lávky	70
7.8.3	Požární ochrana lávky	71
8	Výroba Lávky	72
8.1	Výroba prvků lávky z lepeného lamelového dřeva.....	73
8.2	Výroba prvků lávky z dubového a modřínového dřeva	75
8.3	Výroba ocelových spojů.....	77
9	Montáž Lávky	78
9.1	Přípravné práce.....	78
9.2	Montážní postup lávky	78
9.2.1	Stavba nosné konstrukce.....	78

9.2.2	Usazení lávky na betonové podpory	79
9.2.3	Montáž pochozí vrstvy mostovky	80
9.2.4	Montáž konstrukce zábradlí	80
9.2.5	Dokončovací práce.....	81
10	Shrnutí, ekonomické zhodnocení	82
10.1	Vliv zvoleného materiálu na životnost lávky	82
10.2	Vliv zvolených materiálů na vzhled konstrukce	83
10.3	Ekonomické zhodnocení, porovnání s původní konstrukcí.....	83
10.3.1	Porovnání nákladů na realizaci s původní konstrukcí.....	84
11	Závěr	87

Seznam obrázků

Obrázek 1: Most Pons Sublicius	19
Obrázek 2: Trajánův most, Dunaj	19
Obrázek 3: Most Kappelbrücke	20
Obrázek 4: Most Ponte degli Aplini	20
Obrázek 5: Grubenmannův most v Kubelu.....	21
Obrázek 6: Grubenmannův most v Schaffhausenu	22
Obrázek 7: Most the Colossus of Fairmount	23
Obrázek 8: Most v obci Černvín.....	24
Obrázek 9: Rechle v Lenoře	24
Obrázek 10: Příhradová konstrukce – lávka v Novém městě nad Metují	35
Obrázek 11: Trámová konstrukce z lepených oblouků-Lávka na Modravě.....	35
Obrázek 12: Typy obloukových mostů dle umístění mostovky.....	36
Obrázek 13: Oblouková konstrukce s horní mostovkou – lávka v Montmorency, Austrálie.....	37
Obrázek 14: Oblouková konstrukce s mezilehlou mostovkou – lávka Nový Bor	37
Obrázek 15: Oblouková konstrukce se spodní mostovkou – lávka přes Studenou Vltavu	37
Obrázek 16: Zavěšená konstrukce lávky – Buchlovice	38
Obrázek 17: Visutá dřevěná lávka přes Sázavu – Obec Zbořený Kostelec	39
Obrázek 18: Visutá dřevěná lávka s výztužným nosníkem – Benešov u Semil.....	39
Obrázek 19: Lepené lamelové dřevo	42
Obrázek 20: Některé z nejpoužívanějších mechanických spojovacích prostředků.....	43
Obrázek 21: Kombinace svorníků a ocelových plechů – Lávka přes studenou Vltavu	44
Obrázek 22: Mapa s vyznačenou polohou lávky ve Velkých Hydčicích.....	46
Obrázek 23: Katastrální výřez území Velkých Hydčic.....	47
Obrázek 24: 2. Mapa s vyznačenou polohou lávky ve Velkých Hydčicích.....	47
Obrázek 25: Mapa s přesným vyznačením současné a budoucí konstrukce	48
Obrázek 26: Mapa 2 s přesným vyznačením současné a budoucí konstrukce	48
Obrázek 27: Mapa sněhových oblastí ČR s vyznačenou polohou konstrukce.....	50
Obrázek 28: Turistická mapa blízkého okolí lávky	51
Obrázek 29: Schémata typů konstrukcí bez nutné střední podpory, rozděleny podle rozpětí.....	52

Obrázek 30: Volný šířkový a výškový prostor pro jednostranný a oboustranný provoz cyklistů.....	54
Obrázek 31: Navržená konstrukce – žlutě vyznačené zavětrování	56
Obrázek 32: Navržená konstrukce – žlutě vyznačené zavětrování	56
Obrázek 33: Nosné oblouky a jejich rozpěry	59
Obrázek 34: Podélné nosníky	60
Obrázek 35: Svislé pruty pro zavěšení mostovky	61
Obrázek 36: Spodní zavětrování mezi podélnými nosníky v úrovni mostovky.....	62
Obrázek 37: Horní zavětrování mezi oblouky	62
Obrázek 38: Pochozí vrstva mostovky.....	63
Obrázek 39: Konstrukce zábradlí.....	64
Obrázek 40: 3D náhled na uložení lávky na železobetonové opěry.....	65
Obrázek 41: Náhled na 3D model se spojovacími prostředky	67
Obrázek 42: Schéma pracovního postupu výroby lepeného lamelového dřeva.....	73
Obrázek 43: Prostředí programu Hundegger při výrobě na CNC K2i -1	76
Obrázek 44: Prostředí programu Hundegger při výrobě na CNC K2i -2.....	77
Obrázek 45:Graf možností vyložení a hmotnosti břemene	79

Seznam tabulek

Tabulka 1: Předepsaná vlhkost dřevěných prvků pro stavební konstrukce.....	33
Tabulka 2: Tabulka základních tesařských spojů.....	41
Tabulka 3: Třídy ohrožení a výskyt biotických činitelů podle EN 335-1	70
Tabulka 4: Cenová kalkulace navržené lávky.....	86

Seznam použitých zkratk a symbolů

BSH	Brettschichtholz (lepené lamelové dřevo)
ČSN	Česká technická norma
EN	Evropská norma
GLULAM	Glued laminated timber (lepené lamelové dřevo)
KVH	Konstruktionsvollholz (Konstrukční dřevo)
LLD	Lepené lamelové dřevo
LSL	Intrallam
LVL	Vrstvené dřevo
PSL	Parallam
Q100	stoletý návrhový průtok/návrhová hladina

1 Úvod

Předmětem diplomové práce je konstrukční návrh dřevěné mostní konstrukce. Konkrétně konstrukce lávky pro pěší a cyklisty. Obliba výstavby dřevěných mostních konstrukcí a jiných staveb na bázi dřeva v České republice za poslední roky velmi stoupla a jedná se tak o aktuální téma. Například procentuální zastoupení rodinných dřevostaveb se v ČR neustále zvyšuje, v roce 2018 bylo 16,1 % novostaveb ze dřeva, což je oproti roku 2008 (5,3 %) více než trojnásobek. Tato čísla se každý rok pravidelně zvyšují. Použití dřeva jako primární materiál pro nosné prvky rodinných domů byl bez pochyb jeden z faktorů pro zvýšení míry využití dřeva i do jiných stavebních sfér, jako mosty, rozhledny apod. Dnešní zvyšující se nároky na ekologičnost staveb s šetrnějším přístupem k životnímu prostředí s co nejmenší uhlíkovou stopou je rovněž přínosem právě pro výstavbu dřevěných konstrukcí. Jedná se o obnovitelný zdroj a s dřevěnými konstrukcemi jsou z pravidla spojeny nižší výrobní, přepravní a montážní náklady v porovnání například s železobetonovými a ocelovými konstrukcemi stejného typu. Nízká hustota dřeva, a tudíž relativně nízké hmotnosti dřevěných konstrukcí nám zaručí pohodlnější a rychlejší montáž s menšími nároky na manipulační techniku. Na zvyšování zastoupení dřevěných konstrukcí ve stavebnictví se rovněž podílí i vývoj a inovace v oblasti materiálů na bázi dřeva, spojovacích prostředků a látek pro povrchové úpravy a ochranu dřeva. U dřevěných mostních konstrukcí se v posledních letech setkáváme hlavně s lepeným lamelovým dřevem. A to z několika hlavních důvodů. Oproti masivnímu dřevu dosahuje větší únosnosti, vykazuje větší tvarovou a rozměrovou stálost a umožňuje tak překlenout obrovská rozpětí. Vzhledem k výrobnímu postupu lepeného lamelového dřeva má oproti masivnímu dřevu lepší odolnost vůči ohni, menší počet vad, a tudíž lepší pohledovou kvalitu (K.A. Malo, 2008).

Vzhledem k postupným změnám přístupu člověka k životnímu prostředí, vývoji trendů ve stavebnictví a k nesporným přednostem dřeva a dnešních materiálů na bázi dřeva, jako stavebních materiálů se po světě za poslední roky začíná objevovat více a více dřevěných mostních konstrukcí, a to jak mostů, tak lávek. Hlavním rozdílem mezi mostem a lávkou je zatížení, se kterým se při návrhu konstrukce počítá. U mostů je potřeba počítat s velkými nahodilými zatíženími od motorových vozidel, zatím co u lávky se počítá zejména s chodci, cyklisty a vozidlo by se na nich mělo vyskytnout jen v krajním případě, a to záchranné, pokud je to u dané lávky vůbec technicky možné. Lávky jsou z těchto důvodů navrhovány na mnohem menší nahodilá zatížení než mosty. S lávkami

se můžeme setkat hlavně u přemostění vodních doků a silničních komunikací. Klíčovými kritérii pro konstrukční návrh mostní konstrukce je volba typu konstrukce lávky, vhodného materiálu, potřebných ocelových dílců společně se spojovacími materiály a v neposlední řadě vhodné prostředky k ochraně celé konstrukce se zaměřením na ochranu dřeva. Práce se zabývá konstrukčním návrhem lávky, včetně výrobní a montážní dokumentace. Součástí práce je rovněž ekonomické zhodnocení celé konstrukce od návrhu až po předání díla s porovnáním dvou různých materiálů (Zadání DP).

Součástí práce je i zasazení lávky do konkrétní lokality. Jako vhodné místo pro umístění lávky tohoto typu byla zvolena obec Velké Hydčice, obec ležící při řece Otavě, mezi městy Sušice a Horažďovice. Konkrétně přemostění přes řeku Otavu mezi obcemi Velké a Malé Hydčice. Lávka na tomto místě je nedílnou součástí místní infrastruktury a už roky přes ní vede Otavská cyklostezka. Toto místo bylo vybráno z důvodu, že dosavadní lávka byla již nevyhovující a potřebovala časté opravy. Nová lávka na tomto místě bude plnohodnotným nástupcem jejího předchůdce, vydrží mnoho let a oproti původní, ocelové, bude nová dřevěná konstrukce lépe doplňovat přírodní prostředí blízkého okolí.

2 Cíle Práce

Hlavním cílem práce je na základě teoretických poznatků navrhnout vhodnou dřevěnou mostní konstrukci jako náhradu ocelové lávky v konkrétní lokalitě a demonstrovat dřevo a materiály na jeho bázi jako velmi vhodné alternativy při navrhování konstrukcí podobného typu.

Dílčí cíle:

- Charakteristika lokality pro realizaci dřevěné lávky;
- Volba vhodných materiálů a vhodného typu konstrukce na základě literárního přehledu a charakteristiky dané lokality;
- Konstrukční návrh lávky s ohledem na ochranu dřeva;
- Vypracování výstupů pro CNC obráběcí centrum Hundegger K2i a popis samotné výroby;
- Vypracování montážní dokumentace pro sestavení jednotlivých segmentů lávky a pro její samotné usazení na místo;
- Zhodnocení vlivu použitého materiálu;
- Vypracování cenové kalkulace a porovnání s náklady na vyhotovení původní lávky.

3 Literární přehled

Dřevo je jeden z nejstarších stavebních materiálů, který člověk používá již od dob prehistorických. Díky jeho obnovitelnosti, relativně jednoduchému opracování i jednoduchými nástroji v dřívějších dobách a jeho dalším nesporným výhodám, které přetrvávají dodnes se dřevo používalo a používá ve všech koutech světa během všech dob lidské existence. Prvotně bylo dřevo používáno na jednoduché nástroje pro lov a pro vytváření jednoduchých přístřešků pro ochranu před povětrnostními vlivy. Postupem času se zdokonalováním lidské inteligence, používaných nástrojů a se získáváním zkušeností se stejně přímo-úměrně zdokanalovala i lidská díla ze dřeva. Lidé začali vytvářet dřevěné mosty, krovny, věže, železnice i vícepatrové objekty. Jako u všech ostatních stavebních konstrukčních materiálů je i pro dřevo klíčové dokonalé prostudování jeho vlastností a opatrnosti ohledně jeho nevýhod oproti ostatním materiálům.

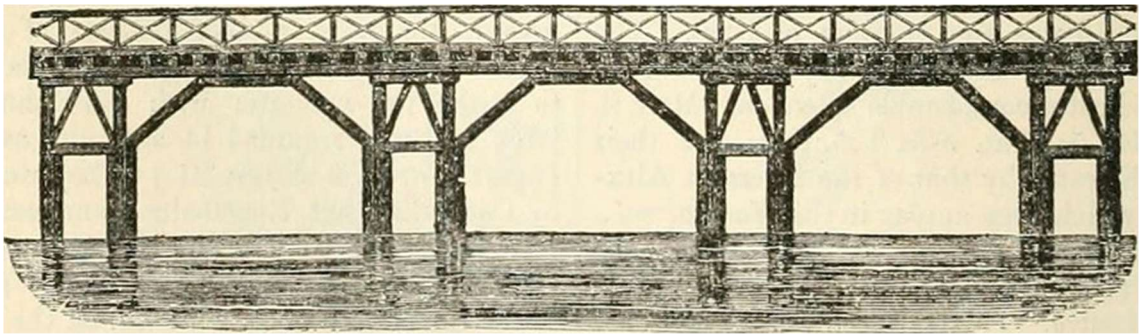
3.1 Historie dřevěných mostních konstrukcí

Ještě, než byla použita první litina na konstrukci mostu (most u Coalbrookdale na řece Severn, který byl otevřen roku 1781) dále ocel (například most krále Alberta přes Labe, otevřený roku 1893) a následně železobetonu byly do té doby jediné používané materiály pro tvorbu mostních konstrukcí dřevo a kamen. Zachovalých historických kamenných mostů je po světě mnoho, ale dřevěných mostů z dřívějších dob se z pochopitelných důvodů tolik nezachovalo. Vzhledem k tomu, že dřevo je od pradávna materiál dostupný téměř po celém světě lze dřevěné mostní konstrukce, hlavně z posledních několika staletí, nalézt ve všech koutech světa (Mettem, C. J, 2011).

V následující podkapitole budou popsány některé z nejznámějších mostních konstrukcí pro vytvoření určitého přehledu o postupném vývoji dřevěných mostů a lávek jako takových.

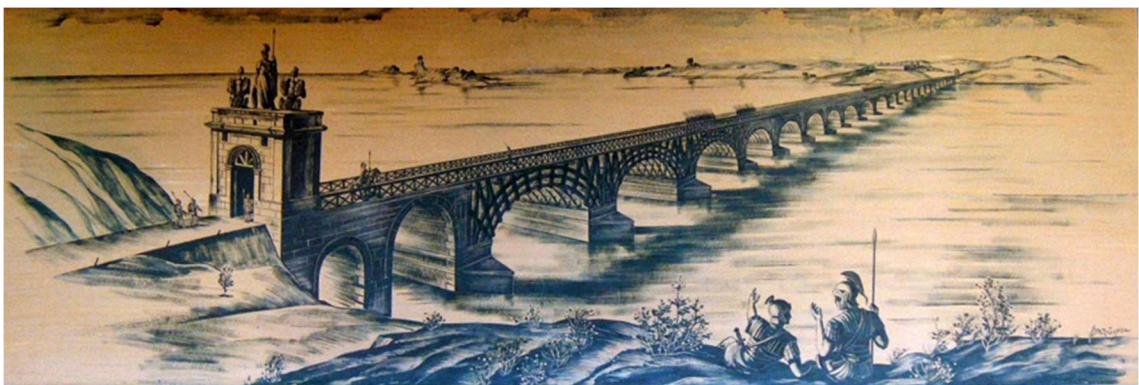
3.1.1 Dřevěné lávky po světě

První mostní konstrukcí, dá-li se to tak nazvat, byla bez pochyb kláda stromu uložená přes překážku, kterou člověk potřeboval překonat. Nejstarší historický zachovalé mostní konstrukce byly vytvořeny v období kolem roku 600 BC. V těchto letech se rozvíjely obchodní stezky a bylo nutné vytvářet spolehlivou síť cest včetně mostů a lávek. Jednalo se zpravidla o mosty jednoduché trámové konstrukce z otesaných kmenů. Klasickým příkladem je most Pons Sublicius (Obrázek 1) v Římě přes řeku Tiberu. Stavba toho mostu trvala pouhých 10 dní a díky pravidelným opravám vydržel a sloužil 900let (Kuklík, 2008).



Obrázek 1: Most Pons Sublicius (Twitter/antiqua_roma, 2020)

V pozdějším období, a to na počátku našeho letopočtu byl postaven dřevěný most přes řeku Dunaj, a to Trajánův most (Obrázek 2). Byl postaven roku 103, světlost mezi pilíři byla 35 m, pilíře široké 18 m a celková délka konstrukce činila 1070 m (Kuklík, 2008).



Obrázek 2: Trajánův most, Dunaj (wikipedia.org, 2020)

V roce 1333 byl postaven jeden z nejznámějších dřevěných mostů, a to most v Kapellbrücke ve Švýcarsku (Obrázek 3). Most je zajímavý svým lomeným půdorysem a zastřešením. Most v roce 1993 vyhořel, ale byl zrekonstruován a dodnes existuje. Je jednou z chráněných národních památek Švýcarska (Kuklík, 2008).



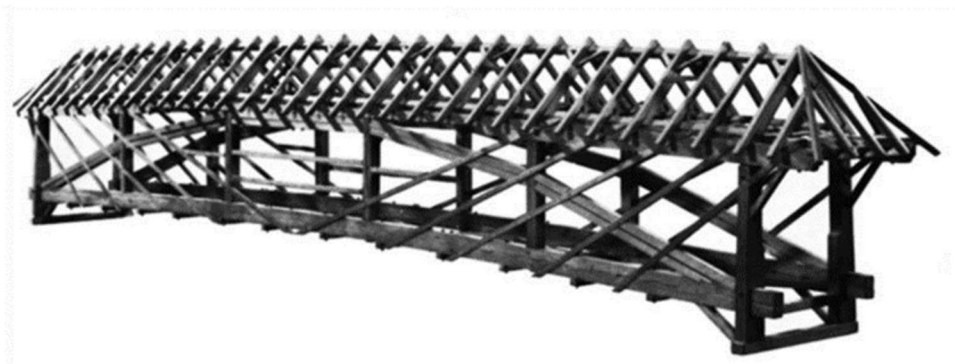
Obrázek 3: Most Kappelbrücke (Tripadvisor, 2019)

Andrea Palladio byl Italský architekt z 16. století (1508-1580), který byl průkopníkem svého oboru a má na svědomí mnoho dřevěných mostních příhradových konstrukcí. Mezi jeho nejznámější mostní konstrukce patří například Ponte degli Alpini (1567) v Bassanu, který dodnes stojí.



Obrázek 4: Most Ponte degli Aplini (renneritalia, 2019)

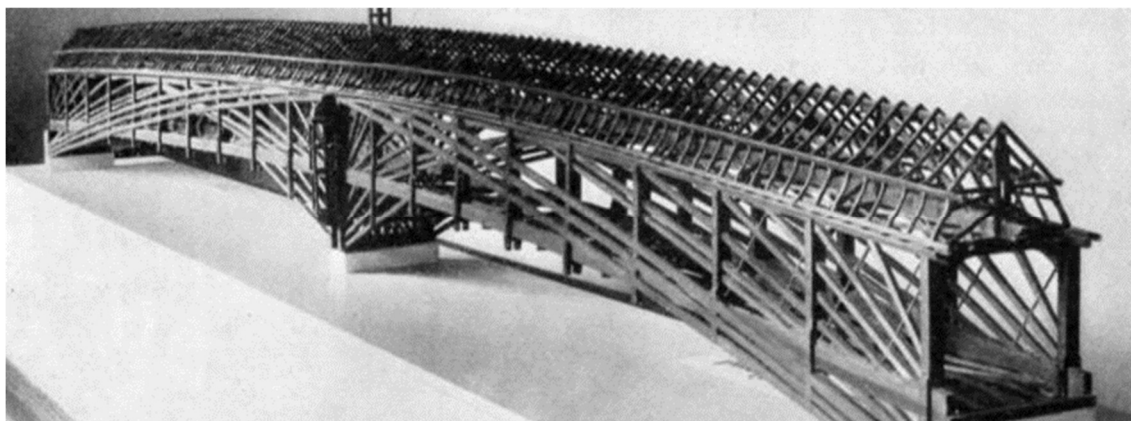
Roku 1749 byl anglickým inženýrem a konstruktérem dřevěných mostů Williamem Etheridge navržen takzvaný „matematický most“ v Anglickém Cambridge. Most vizuálně odpovídá oblouku, ale ve skutečnosti je postaven z přímých dřevěných prvků, které jsou uspořádány tangenciálně k zakřivení. Tyto prvky jsou ve všech průřezných bodech spojeny svorníky (Koželouh, 2004). Etheridge byl známý pro své dřevěné konstrukce mostů na základě matematických principů. Krom matematického mostu je Etheridge známý například pro svůj Waltonův most přes řeku Temži, nejstarší z Waltonůvých mostů. V průběhu 18. století byly ve Francii navrženy mostní konstrukce, jejichž vozovka byla uložena na plochých obloucích s lamelovým průřezem. Jako příklad lze uvést Ludvíkův most přes řeku Isar. Další známý konstruktér mostů této doby byl Hans Ulrich Grubenmann. Grubenmann v 18. století navrhl několik mostů, které byly charakteristické svým zastřešením a rozpětí měly až ke 120 metrům. Známý most v Kubelu (Obrázek 5) je typický pro svou konstrukci, která kombinuje konstrukci obloukového a věšadlového mostu. Zastřešení u tohoto mostu funguje jako forma ztužení. U všech kombinovaných konstrukcí tohoto typu bylo používáno komplikovaného přeplátování pro vytvoření dlouhých tažených prvků z krátkých dřevěných dílců. (Koželouh, 2004).



Obrázek 5: Grubenmannův most v Kubelu (Karin Bucher, 2014)

Další z Grubenmannových známých mostních konstrukcí je most ve Švýcarsku, ve městě Schaffhausen přes Rýn (Obrázek 6). Most byl původně navržen s rozpětím přes celou řeku, což bylo 104 m. Ale na základě požadavku vedení města musel být návrh konstrukce upraven a byla přidána střední podpora.

Zanedlouho po dokončení Gubermann údajně nechal odstranit podklady středního pilíře, aby demonstroval, jak byla původní verze proveditelná. (Kuklík, 2005).



Obrázek 6: Grubemannův most v Schaffhausenu (researchgate, 2013)

Během 19. století byl v severní Americe konstruován nespočet velkých dřevěných mostů. Stavba takové množství mostů měla za příčinu rapidní rozvoj železniční sítě v severní Americe (Bell, 2008). Původní severoamerické mosty byly založeny na jednoduché trámové a sloupové konstrukci. Klasickým příkladem je Great Bridge přes Charles River. Právě na přelomu 18. a 19. století se začaly navrhovat příhradové konstrukce s kombinacemi s jinými konstrukcemi. Jeden z nejznámějších mostů této éry byl bez pochyb „the Cascade bridge“, který navrhl a postavil Thomson Brown. Jednalo se o kombinaci příhradových vazníků a obloukové konstrukce s použitím na rozpětí 90 m. Švýcarští inženýři, kteří tento most navštívili, jej označili za jednu z nepůsobivějších mostních konstrukcí v USA (Koželouh, 2004). Další známe konstrukce tohoto období v USA byly například konstrukce od Britského konstruktéra Isambarda Kingdoma Brunela, který byl známý zejména pro své navrhování konstrukcí ze štíhlých prvků a možností výměny jakéhokoliv konstrukčního prvku během jedné hodiny bez přerušení provozu. Brunel prováděl zatěžkávací zkoušky konstrukcí a používal impregnaci prvků konstrukce pro výrazné prodloužení životnosti konstrukcí. V roce 1812, stavitel mostů původem z Německa Louis Wernwag, postavil most Colossus of Fairmount (Obrázek 7), který byl v té době považován za jeden z divů světa.

Jednalo se do té doby o nejdelší postavený dřevěný most s rozpětím 104 m a byl rovněž považován za architektonické a inženýrské mistrovské dílo. Most byl bohužel roku 1828 zničen požárem. Za předpokladu, že byla konstrukce mostu a jeho zastřešení v této době navržena správně, bylo možné předpokládat životnost mostu 50-100 let. Oproti ocelovým mostním konstrukcím splňující stejné účely byly náklady na dřevěné mosty přibližně poloviční.



Obrázek 7: Most the Colossus of Fairmount (structuremag, 2019)

3.1.2 Dřevěné lávky v České republice

Vzhledem k poloze České republiky lze na našem území zaznamenat dřevěné konstrukce charakteristické pro celou střední Evropu. Právě dřevěných mostů a lávek se na našem území již v minulosti nacházelo značné množství. Na území Prahy byl první dřevěný most přes Vltavu postaven pravděpodobně roku 795, dodnes ale není známo, jak dlouho sloužil svému účelu (Kuklík, 2005). Ke konci 10. století, byl v Praze přes Vltavu postaven druhý dřevěný most. Most byl bohužel poškozen povodněmi v roce 1118. Následně byl v Praze postaven třetí dřevěný most, který byl ale v roce 1172 nahrazen Juditiným mostem.

Nejstarším dochovaným mostem ze dřeva u nás je dřevěný silniční most v obci Černvín na Moravě (Obrázek 8). Most byl postaven roku 1718, je široký 2,6 m a dlouhý 32 m. Byl použit věšadlový konstrukční systém (Kuklík, 2005).



Obrázek 8: Most v obci Černvín (archiweb, 2008)

Jedním z dalších typů dřevěných mostních konstrukcí jsou rechle (Obrázek 9), které sloužily pro zachytávání a zadržování kulatiny a polen, které byly plaveny po řece do papíren. Do otvorů v podlaze se dle potřeby zasouvaly trámy, které tvořily bariéru pro plavený materiál.



Obrázek 9: Rechle v Lenoře (jiznicechy, 2009)

Dalšími příklady dřevěných mostů a lávek u nás jsou například dřevěný most v Chebu, který byl do současné podoby znovu vybudován dle původního mostu, který byl zničen na konci války roku 1945. Na přelomu 19. a 20. století bylo v Praze používáno hned několik velkých dřevěných mostů, například starý Libeňský most z roku 1903. Most měl 21 polí a na délku měřil 449 metrů (Kuklík, 2005).

3.2 Používané materiály, typy konstrukcí, spoje a spojovací materiály

Hlavními faktory vývoje mostního stavitelství a stavitelství obecně je možnost a schopnost člověka používat nejnovější a nejvhodnější materiály pro danou konstrukci s konkrétními požadavky, nejefektivnější způsob vyhotovení konstrukce jak z konstrukčního, tak praktického hlediska. S konstrukční částí pak úzce souvisí použité typy spojů a spojovacích materiálů. Druh a kvalita spojovacích prostředků a materiálů úzce souvisí a vypovídá o celkové úrovni daného odvětví stavitelství v daném období.

3.2.1 Vývoj používaných materiály pro dřevěné mostní konstrukce

Z předchozích odstavců o historii mostních konstrukcí je zřejmé, že prvním materiálem pro stavební účely obecně bylo právě rostlé dřevo. Dřevo je navzdory svým pevnostem velmi dobře opracovatelné, a to i jednoduššími nástroji. Proto se z počátku jednalo z pravidla o hrubě otesané kmeny stromů. Konstrukce byly většinou masivní a těžké. S rozvojem řemesel se začaly používat i nové mechanismy, například poháněné vodou. Přesto ale zůstalo ruční opracování hlavním způsobem výroby konstrukcí. A tak i konstrukce mostů měly nezaměnitelný řemeslný ráz. Na jejich stavbu se zpravidla používala právě kulatina, s postupem času poté i hraněné řezivo (Dutko et al., 1966). Díky postupnému rozvoji strojních zařízení a rozšíření možností zpracování kulatiny na hranoly, fošny a prkna se na počátku 18. století pomalu začaly rozšiřovat i lehčí, méně masivní konstrukce. V této době se rovněž začalo přecházet z čistě tesařských spojů, eventuálně s dřevěnými klíny či kolíky, na kombinaci tesařských spojů a ocelových spojovacích prostředků jako hřebíky, kolíky, svorníky apod.

Přechod z manufakturní výroby stavebních dílců na plně strojní výrobu umožnil mnohem rychlejší a přesnější opracování dřeva. Vzniklo mnoho velkých pilařských závodů, které měly oproti manufakturám obrovské výrobní kapacity a byly schopné vyrábět materiál na sklad do zásoby. Strojní výroba se nevyhnula ani do té doby ručně, kovářsky vyráběným spojovacím prostředkům. Továrenská výroba spojovacích prostředků byla oproti ruční, kovářské výrobě přesnější, levnější a výrobní kapacity byly nesrovnatelné. Dalším velkým milníkem ve výrobě materiálů a přípravě stavebních dílců pro dřevěné konstrukce obecně byl příchod CNC obráběcích center do dřevozpracujícího průmyslu. CNC centra oproti samotným pilnicím umožňuje velmi přesné vytvoření stavebních hranolů dle požadavku stavby a většina přípravy pro stavbu se tak přenáší do

výrobního závodu. Další významnou změnou v materiálech na bázi dřeva byl příchod konstrukčních hranolů KVH, BSH a DUO a TRIO hranoly. Příchod lepených materiálů a nových spojů otevřel dveře pro nová řešení konstrukčních spojů a řešení příhradových konstrukcí. Postupem času přicházely další materiály na bázi dřeva, kompozitní materiály a nové spojovací prostředky. Nové materiály a typy spojovacích materiálů přináší do mostního stavebnictví nové možnosti řešení konstrukcí a odvětví se tak neustále rozvíjí přímo-úměrně s rozvojem materiálů a spojovacích prostředků.

3.2.2 Vývoj navrhování mostních konstrukcí

Historicky, na počátku tvorby mostních konstrukcí se používaly zpravidla trémové konstrukce a až později se začaly objevovat komplexnější konstrukční systémy, jako obloukové a od počátku 19. století se rozmohly různé variace konstrukcí příhradových. Podoba konstrukčních systémů, jak je známe dnes, je výsledkem dlouholetého vývoje. Velký skok v tvorbě konstrukcí proběhl během 20. století, kdy se dřevěné mostní konstrukce začaly staticky počítat a dimenze jejich prvků a spojovacích prostředků se začaly přesně určovat právě dle výpočtů. Právě návrh dimenzí jednotlivých prvků je po volbě konstrukčního systému dalším, dnes již nevyhnutelným krokem při návrhu mostu nebo lávky. Právě díky statické konstrukci není největším rozdílem mezi dnešními konstrukcemi a konstrukcemi z minulosti složitost nebo rozpětí konstrukce, ale právě úsporné a přesné dimenzování jednotlivých prvků. V minulosti probíhalo dimenzování konstrukcí podle jednoduchých empirických vzorců a na základě zkušenosti stavitelů mostů. Dalším důležitým znakem dnešních mostních konstrukcí jsou moderní spojovací prostředky. Jednotlivé konstrukční dílce a spojovací prostředky nesou stejnou odpovědnost za únosnost a bezpečnost konstrukce. Neposledním znakem dnešního mostního konstruktérství a navrhování konstrukcí je používání zkušebních laboratoří v oboru dřevěných konstrukcí. Začátky zkoušek dřevěných materiálů sahají až do 18. století. (Dutko et. al, 1966).

3.2.3 Historicky používané konstrukční spoje

První lávky a mosty z tesaných kmenů byly spojovány přírodními provazci z dostupného materiálu v dané lokalitě. Tato jednoduchá spojení prvků časem nahradily první tesařské spoje a s postupem času a zdokonalováním nástrojů je nahradily kovové spojovací prostředky a lepidla (Stavební komunita, 2012). Dutko et. al (1966) ve své publikaci potvrzuje, že prvním spojovacím prostředkem bylo právě svazování. Později přišly jednoduché zářezy, časem čepy, dlaby a složitější tesařské spoje s kolíky. V období rozvoje řemesel se v mostních konstrukcích používaly komplikovanější a propracovanější tesařské vazby. Složitější tesařské vazby s množstvím tesařských spojů spolu nesly jednu výraznou nevýhodu, a to nutné naddimenzování prvků kvůli značnému oslabení prvků právě tesařskými spoji. Druhotnými spojovacími prostředky byly v této době klíny, kolíky jak ze dřeva, tak z kovu. Dále se používaly obdobné prostředky, jako u dobových konstrukcí krovu, a to různé typy objímek, pásů apod. Ještě v průběhu 19. století probíhalo dimenzování a návrh tesařských vazeb na základě empirických vzorců a zkušeností konstruktérů a řemeslníků. Až v průběhu 20. století se konstrukce začaly staticky posuzovat, viz předchozí kapitola: „vývoj navrhování mostních konstrukcí“.

3.3 Současné dřevěné lávky a mosty

Díky dnes dostupným moderním technologiím pro zpracování a výrobu materiálů na bázi dřeva je dřevo ve větších konstrukcích znovu na vzestupu, a to zejména lepené lamelové dřevo. Dřevo, přestože nemá téměř neomezené konstrukční vlastnosti, jako ocel nebo beton, se díky své ekonomičnosti, estetičnosti, ekologičnosti, ceně a rychlosti výstavby stává velkým konkurentem právě pro tyto zažité materiály pro mostní a pozemní konstrukce. Dřevěné mosty a lávky jsou u nás na vzestupu hlavně v posledním desetiletí. Můžeme se s nimi setkat především v oblastech přírodních krás, jako jsou Šumava, Krkonoše, Jeseníky a další. Dřevěné lávky ve městech a obcích poté doplňují tamní infrastrukturu a tvoří komunikace většinou pro pěší a cyklisty. Kromě svých specifických statických a dynamických vlastností jsou tyto konstrukce vystaveny povětrnostním vlivům, které urychlují přirozenou degradaci materiálu na bázi dřeva a tento proces se už při návrhu snažíme co nejvíce zpomalit konstrukční ochranou konstrukce a povrchovou úpravou materiálů.

Rostlé dřevo, u kterého jsme omezeni maximální délkou prvku z jednoho kmene, se používá převážně na menší lávky o menších rozpětích. Pro střední a větší rozpětí používáme především lepené lamelové dřevo, jehož maximální délka není omezena výškou pokáceného stromu, ale je omezena až výrobní technologií lepeného lamelového dřeva, možnostmi dopravy a montáže konkrétní konstrukce.

Novodobé dřevěné lávky mají v České republice krátkou historii. Je proto nezbytné sledování funkčních konstrukcí a získávání zkušeností ohledně životnosti a vyvarovat se nevhodným návrhům a řešením z minulosti.

3.3.1 Materiály používané na konstrukce dřevěných mostů a lávek

Současné konstrukce lávek jsou výsledkem rozvoje dřevěných konstrukcí za několik posledních desetiletí, který se vyznačuje používáním stále novějších materiálů na bázi dřeva, které oproti řezanému dřevu vykazují vyšší parametry pevnosti a nemenší roli zde sehrává i vývoj spojovacích prostředků, které nám dnes umožňují vyhotovit složité a náročné spoje, které dříve nebyly možné. Rozvoj tvorby mostních konstrukcí a stavebních konstrukcí obecně vždy navazoval na možnosti a přesnost výroby a kvalitu používaných materiálů. Na dřevěné konstrukce byla zprvu používána kulatina, později s příchodem pilnic se začalo používat hraněné řezivo a v další etapě lepené lamelové dřevo a materiály na bázi dřeva (Stavební komunita, 2012).

3.3.1.1 Rostlé dřevo

Dřevo je organický, anizotropní, nehomogenní a hygroskopický materiál těžený z částí dřevin (zejména z kmenů, větví, kořenů stromů a keřů). Ve světě je popsáno přibližně 423 000 druhů rostlin, mezi nimiž je zhruba 30 000 druhů dřevin. Z tohoto počtu je přibližně 3 000 až 5 000 dřevin vhodných k průmyslovému využití. Předmětem mezinárodního obchodu je zhruba 200 dřevin. Dřevo má mnoho kladných vlastností. Navzdory své nízké hmotnosti má dřevo vysokou pevnost, je velmi dobře opracovatelné a jedná se o přírodní tepelný izolant. Aby bylo možné použít rostlé dřevo pro nosné konstrukční prvky, musí mít danou pevnost na základě statického posudku. V dnešním dřevozpracujícím průmyslu se s již na počátku výrobního procesu dřevo třídí dle pevností, a to buď vizuálně nebo strojně. Rostlé dřevo se v konstrukcích používá ve formě

deskového, polohraněného nebo hraněného řeziva. Zásadní nevýhodou rostlého řeziva je nižší odolnost vůči abiotickým a biotickým činitelům a rovněž výskyt vad, trhlin, prasklin, které mají negativní vliv na pevnostní parametry prvků. Běžně je řezivo dostupné v maximálních délkách do přibližně 15 m po 0,5m. Přířezy jsou odstupňovány zpravidla po 20 mm, v závislosti na vybavení pilnice, až do průřezů 200/300 mm. Standartní délky latí, prken a fošen jsou 4-6 m. Při návrhu dřevěných konstrukcí je dřevo používáno pro všechny typy nosných prvků, jako vaznice, sloupy, průvlaky a jiné (Jelínek, 2012).

Pro dřevěné konstrukce ve stavbách obecně, se v České republice zpravidla používá stavební řezivo jakosti S10 s normovanou pevností C24. Při použití listnatých dřevin se zpravidla jedná rovněž o stavební řezivo jakosti S10 o pevnostech D30 a D35. U menších konstrukcí lze použít kompletně rostlé řezivo, ale u větších konstrukcí jsou hlavní nosné prvky zpravidla z lepeného lamelového dřeva a prvky nenosné z hoblovaného nebo sušeného a hoblovaného řeziva (Jelínek, 2012).

3.3.1.2 Lepené rostlé dřevo

Norma ČSN EN 14080 (2013) uvádí definici lepeného rostlého dřeva jako nosného dřevěného prvku s celkovými rozměry průřezu maximálně 280 mm vytvořeného z 2-5 rovnoběžných lamel, které mají stejnou třídu pevnosti nebo specifickou třídu pevnosti určenou výrobcem a vykazují konečnou tloušťku lamely od 45 mm do 85 mm (včetně).

3.3.1.3 Lepené lamelové dřevo (BSH, LLD, Glulam)

Norma ČSN EN 14080 (2013) uvádí definici lepeného lamelového dřeva jako nosného dřevěného prvku vytvořeného nejméně ze dvou v zásadě rovnoběžných dřevěných lamel, které mohou obsahovat jedno nebo dvě prkna vedle sebe, s opracovanou tloušťkou od 6 mm do 45 mm (včetně). Jedná se o v současnosti nejrozšířenější materiál pro nosné konstrukce dřevěných lávek a mostů. Díky způsobu jeho výroby ho lze použít na konstrukční prvky velkých rozměrů. Jeho užité vlastnosti jsou výrazně lepší, než u dřeva rostlého (Kuklík, 2005). Technologický postup výroby spočívá ve vrstvení a lepení dřevěných lamel na sebe a tvoření „nekonečného“ prvku, který je poté krácen dle požadavku. Na skladovou výrobu zpravidla na 13 m dlouhé hranoly. Lepené spáry mezi lamelami musí být vždy pevnější, než dřevo samotné a nemá negativní vliv na mechanické vlastnosti materiálu. BSH hranoly se tedy posuzují jako celistvé profily. Výroba umožňuje jak výrobu přímých, tak ohýbaných nosníků. Délky vyrobených prvků se zpravidla pohybují do 35m délky, výjimečně až kolem 50 m, v závislosti na možnostech výrobního závodu. Limitujícím faktorem je zde způsob a možnost dopravy na místo stavby nebo prefabrikace konstrukce. Mezi hlavní výhody BSH hranolů patří rozměrová stabilita hranolů, přesné tvarové provedení, kvalita povrchu materiálu, počet vyskytujících se vad dřeva oproti rostlému řezivu, relativně libovolné tvary a rozměry v závislosti na výrobním závodu (zpravidla do 280 mm šířky a 1280 mm výšky) a normované třídy pevnosti (Böhm et al., 2012).

BSH hranoly se běžně vyrábí v třídách pevnosti GL24, v případě potřeby GL28 a GL32. Dle kvality lamel lze BSH hranoly rozdělit na homogenní a nehomogenní. Homogenní BSH hranol má všechny lamely o stejné pevnosti, nehomogenní (kombinovaný) BSH hranol má na okrajích lamely o vyšších pevnostech a směrem do středu průřezu jsou lamely o nižších pevnostech. Důvodem je průběh napětí v průřezu při namáhání na ohyb, kdy v oblasti neutrální osy není nutná tak vysoká pevnost jako na okrajích průřezu, kde je tlak v horní části průřezu a tah v dolní části průřezu mnohem větší. Dělení lepeného lamelového dřeva homogenního průřezu dle pevnostních tříd je uvedeno v normě ČSN EN 14080.

3.3.1.4 Konstrukční hranoly (KVH)

Konstrukční dřevo neboli KVH, je sušený, zubovitým spojem délkově nastavovaný, čtyřstranně frézovaný a tloušťkově egalizovaný materiál, který se vyrábí zpravidla v délkách 13 m. Dalšími typy, vycházející právě z KVH hranolů jsou Duo a Trio hranoly. Tyto hranoly se vyrábí plošným slepením vícero jednovrstvých KVH hranolů (Böhm et al., 2012). Materiál je tedy vyroben z řeziva zbaveného vad, je uměle vysušené a následně délkově nastavováno zubovitým, tzv cinkovým spojem. Výhody jsou podobné, jako u materiálu Glulam – stabilní rozměry, zbavení materiálu většiny vad, přesné dimenze prvků, certifikace materiálu a normou dané pevnostní třídy. KVH hranoly jsou ovšem oproti BSH hranolům omezeny výškou průřezu a nedosahují takových pevností v namáhání na ohyb při stejných dimenzích. Rozdíl oproti běžnému konstrukčnímu řezivu spočívá v nadstandardně stanovených požadavcích přesahujících požadavky běžných norem (Blass, 2008). Dle normy ČSN EN 338 (2010) se dělí na třídy pevnosti dle charakteristické hodnoty pevnosti v ohybu.

3.3.1.5 Kompozitní materiály na bázi dřeva

Na rozdíl od konstrukčních hranolů KVH a BSH jsou dřevěné kompozitní materiály vyrobeny z částic dřeva. Jelikož jsou kompozitní materiály z menších dřevěných částic, vady dřeva, jakožto negativní faktor pro vlastnosti dřeva obecně, jsou tímto eliminovány. Díky tomu mají kompozitní nosníky lepší poměr pevnosti a hmotnosti než ocelové. Díky tomu, že je většinou složkou právě dřevo, si materiály zachovávají většinu výhod obdobných materiálů, jako BSH a KVH. Je to lehká opracovatelnost materiálů na bázi dřeva obecně, rozměrová stálost, požární odolnost, odolnost proti borcení, kroucení a praskání. Mezi hlavní zástupce kompozitních materiálů patří: Vrstvené dřevo vyráběno lisováním dýh – (LVL), Microllam. Dřeviny použité na dýhy jsou zpravidla smrk, bříza nebo buk. Dýhy jsou ukládány na sebe, a to paralelně se směrem výroby. Mezi jednotlivé vrstvy je nanášeno lepidlo. Po slisování celého bloku je blok nařezán na požadované dimenze finálních prvků. Dalším zástupcem kompozitních materiálů je Parallam (PSL), ten se na rozdíl od microllamu vyrábí pouze z pásek dýh, a to hlavně z douglasky, jedle a kanadské borovice. Na pásy je při výrobě nanášeno fenolformaldehydové lepidlo, následně jsou skládány do bloků a lisují se do požadovaných tvarů a dimenzí. Tento postup je používán pro výrobu nosníků o délce až

20 m. Třetím typem z kompozitních materiálů je Intrallam (LSL). Ten se vyrábí většinou z osikového řeziva, a to lepením a lisováním velkých třísek. Materiál se lisuje do velkých desek, které jsou následně formátovány na požadované přířezy. Pro lepení je zde používáno polyuretanové lepidlo (Böhm et al., 2012).

3.3.1.6 Používané dřeviny pro konstrukční prvky

Smrkové dřevo – nejpoužívanější dřevina, světlá barva – nažloutlá až bílá. Smrkové dřevo je mírně smolnaté a má zarostlé suky. Jeho výhodou je pružnost a jednoduchá opracovatelnost, ideální pro výrobu lepených materiálů na bázi dřeva. V suchu trvanlivé, ve vlhku ovšem rychle degraduje a hnije.

Jedlové dřevo – dřevina má bílou až šedobílou barvu, suky jsou místy vypadavé, opracovatelnost oproti smrkovému dřevu je o něco náročnější. Je dobře ohebné, nosné podobně jako smrk. Jeho trvanlivost je ovšem nižší než u smrku nebo borovice a časem šedne.

Borové dřevo – dřevina načervenalé barvy, velmi sukovitá s velkým obsahem pryskyřice. Odolnost proti vlhkosti je oproti smrku a jedli vysoká. Vzhledem k jeho tendenci se při namáhání ohybem štípat a praskat se pro konstrukční prvky namáhané ohybem nedoporučuje. Často volená dřevina do prostředí s velkými výkyvy vlhkosti.

Modřínové dřevo – barva světle žlutá, místy do červena. Často používané do prostředí s velkými výkyvy vlhkosti. Velmi trvanlivá dřevina, která časem šedne až černá.

Dubové dřevo – barva žlutá až hnědá. Velmi houževnaté a trvanlivé dřevo. Velmi těžké, pevné a tvrdé. Na suchu je schopno vydržet 500–700 let.

Bukové dřevo – dřevina načervenalé barvy se špatnou odolností proti vlhkosti a horší opracovatelností (Kuklík, 2005).

V závislosti na způsobu a místě použití rostlého dřeva je dřevo sušeno na určitou vlhkost (Tabulka 1).

Vlhkost dřeva [%] ¹⁾	Použití dřeva
nejvýše 10 % ²⁾	spojovací součásti (hmoždíky, kolíky, klíny apod.) a prvky vystavené dlouhodobým zvýšeným teplotám nepřevyšujícím 55 °C
nejvýše 15 % ³⁾	lepené prvky
nejvýše 20 % ²⁾	konstrukční prvky spojované hřebíky ⁴⁾ , svorníky, kovovými hmoždíky apod.
nejvýše 25 % ²⁾	prvky vystavené nechráněné expozici (tj. třídě použití/vlhkosti 3 podle ČSN P ENV 1995-1-1), u kt. vysychání dřeva není na závadu
bez omezení	prvky, které budou trvale ve vlhkém nebo mokřém prostředí
¹⁾ Uvedené vlhkosti platí pro zpracování dřeva (výrobu konstrukčních prvků)	
²⁾ Nepovažuje se za závadu, vykazuje-li dřeva (max 10% zprac. množství) vlhkost vyšší nejvýše o 2 %	
³⁾ viz ČSN EN 386	
⁴⁾ Hřebíkové konstrukce se doporučuje vyrobít ze dřeva vysušeného na vlhkost nejvýše 18%.	

Tabulka 1: Předepsaná vlhkost dřevěných prvků pro stavební konstrukce (Kuklík, 2005)

V závislosti na vlhkosti materiálů v daném prostředí se dřevěné konstrukce rozdělují do třech tříd provozu. Pro první třídu provozu platí, že vlhkost materiálů odpovídající teplotě 20 °C a relativní vlhkosti okolního vzduchu přesahuje 65 % pouze po několik týdnů v roce, přičemž průměrná vlhkost jehličnatého dřeva nepřesahuje 12 %. V druhé třídě provozu vlhkost materiálů při teplotě 20 °C a relativní vlhkosti okolního vzduchu přesahuje 85 % rovněž po několik týdnů v roce. Průměrná vlhkost jehličnatého dřeva zde nepřesahuje 20 %. V třetí třídě provozu, kam spadají právě mosty a lávky, vedou klimatické podmínky k vyšším vlhkostem a delším časovým intervalům než ve druhé třídě provozu (ČSN EN 1995-1-1, 2006).

3.3.2 Používané typy konstrukcí pro dřevěné lávky a mosty

Dle normy ČSN 73 6200 Mosty – Terminologie a třídění (2011) se rozlišují druhy mostů podle statické funkce hlavní nosné konstrukce. Volba správného konstrukčního systému je klíčovým krokem při návrhu mostu nebo lávky. Cílem je dosažení co nejlepších užitných vlastností, zahrnutí našich možností a případně požadavků objednavatele. Při volbě konstrukčního systému je několik klíčových faktorů, které volbu ovlivní a které je nutné zvážit. Mezi hlavní patří: Rozpětí, které je nutné překonat, zatížení, poloha a tvar terénu, architektonický tvar mostu, základové poměry a pojízdná nebo pochozí výška a světlý profil konstrukce.

Mezi dnešní nejčastější navrhované typy konstrukčních systému patří:

- trémové konstrukce – plnostěnný, příhradový
- věšadlové a vzpěradlové konstrukce
- obloukové konstrukce – s horní, dolní a mezilehlou mostovkou
- zavěšené konstrukce
- visuté konstrukce
- řetězové konstrukce

Dle vnějšího vzhledu rozdělujeme mosty a lávky pro pěší na:

- nekryté
- kryté

Mostovky dělíme dle polohy vůči nosné konstrukci na:

- dolní
- horní
- mezilehlá
- zapuštěná

Mostovky z hlediska prostorové tuhosti dělíme na:

- tuhé (spřažené dřevo-betonové)
- polotuhé (spřažené předpínané a nepředpínané lamelové desky mostovky se zavětrováním)
- poddajné (prvkové (trémové) se zavětrováním, visuté a zavěšené se zavětrováním)

3.3.2.1 Trémové mostní konstrukce, věšadlové a vzpěradlové

Prvním a nejstarším typem mostní konstrukce je konstrukce trémová. Hlavní nosné prvky trémové konstrukce jsou nosníky. Nosníky mohou být příhradové (Obrázek 10), nebo plnostěnné (Obrázek 11), věšadlové, vzpěradlové nebo jiným způsobem zakřivené. Výroba i doprava příhradových nosníků bývá zpravidla jednoduchá, většinou bez omezení, jelikož spájení jednotlivých prutů je relativně jednoduché (Bell, 2008).

U trémových konstrukcí mostů na rozdíl od obloukových nevznikají velké horizontální reakce do podpor. Trémový typ konstrukce se většinou navrhuje na rozpětí od několika metrů až po několik desítek metrů (Karmazínová et al. 2004).



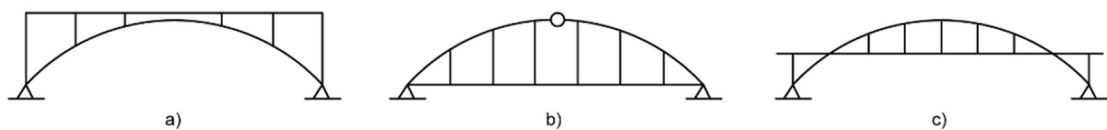
Obrázek 10: Příhradová konstrukce – lávka v Novém městě nad Metují (turistika.cz, 2017)



Obrázek 11: Trémová konstrukce z lepených oblouků-Lávka na Modravě (Idnes, 2014)

3.3.2.2 Obloukové mostní konstrukce

Obloukové mosty jsou díky přenášení zatížení uvnitř konstrukce velmi příznivou variantou, a to především z ekonomického hlediska. Obloukové mosty se mohou lišit dle tvaru oblouku, který zpravidla má tvar kružnice, paraboly, nebo je tvar dán jiným poměrem mezi vzepětím a rozpětím. Hlavní rozdělení obloukových mostů je rozdělení dle umístění mostovky. Obloukový most s horní mostovkou, má mostovku nad obloukem nebo je tečnou oblouku. Mostovka je podepřena svislými pruty, které přenáší osově tlakové síly z mostovky do nosného oblouku (Obrázek 12 a), obrázek 13). Hlavními benefity tohoto řešení je relativní ochrana oblouku mostovkou, možnost paralelně navazovat vícero oblouků pro překování větších rozpětí. Druhým způsobem je provedení mezilehlé mostovky (Obrázek 12 c), obrázek 14) a třetím je spodní mostovka (Obrázek 12 b) a Obrázek 15). U tohoto provedení je nutno zvýšené pozornosti při zabezpečení tuhosti oblouků v příčném směru, je zde tedy vhodné použít příčné zavětrování konstrukce. Ve všech třech typech jsou tíha konstrukce, stálá a proměnná zatížení přenášeny do oblouku, který zatížení následně přenáší do podpor mostu (Bell, 2008).



Obrázek 12: Typy obloukových mostů dle umístění mostovky (Bell, 2008)

U většiny obloukových mostů, do 50 m rozpětí, je zpravidla průřezem oblouku obdélník, pro překonání větších rozpětí je používán příhradový oblouk. Z hlediska možnosti výroby, dopravy a montáže konstrukce je často používán systém trojkloubového oblouku (Obrázek 12 b)). Tento typ konstrukce je ideální do prostředí s proměnlivou vlhkostí, teplotou a s předpokladem sedání konstrukce. Jako materiál je zpravidla použito lepené lamelové dřevo (Bell, 2008).



Obrázek 13: Oblouková konstrukce s horní mostovkou – lávka v Montmorency, Austrálie (Nordic.ca, 2012)



Obrázek 14: Oblouková konstrukce s mezilehlou mostovkou – lávka Nový Bor (Drevoprozivot, 2018)



Obrázek 15: Oblouková konstrukce se spodní mostovkou – lávka přes Studenou Vltavu (Stavbaweb, 2016)

3.3.2.3 Zavěšené mostní konstrukce

Princip zavěšených mostních konstrukcí spočívá v trémovém nosníku, který je zavěšen na šikmých závěsných lanech, která jsou vedena přes pylony, které dále působí na podpory šikmými tahy (Karmazínová et al. 2004). Zavěšené konstrukce lze rozlišovat dle počtu pylonů, naklonění pylonů a dle uspořádání závěsů. Zavěšené konstrukce lávek se zpravidla navrhují do rozpětí 100 m. Na obrázku 16 lze vidět známou lávku u Buchlovic na hlavní trase směrem na Československý hraniční přechod Starý Hrozenkov.



Obrázek 16: Zavěšená konstrukce lávky – Buchlovice (slovacky denik, 2011)

3.3.2.4 Visuté mostní konstrukce

Pro překlenutí největších rozpětí je z mostních konstrukcí používána především visutá konstrukce (Obrázek 17 a Obrázek 18). Hlavním nosným prvkem je visutý pás, ten je namáhán na tah a na kotevní bloky konstrukce působí šikmými podporovými tahy. Starší konstrukce byly navrhovány s mostovkou uloženou či zavěšenou přímo na visutém pásu, toto řešení mělo ale za následek velké deformace a bylo nutné přistoupit k úpravě konstrukce, a to přidáním výztužných příhradových nosníků (Obrázek 18). Pro zavěšení byly dříve používány řetězy. Ty byly později nahrazeny vinutými lany a později kabely z rovnoběžných drátů (Karmazínová et al. 2004). Nosná lana jsou zpravidla kotvena do železobetonových základových bloků. Při ukotvení lan do výztužného nosníku vznikají svislé tlaky v podporách a konstrukce funguje jako trémová. Toto řešení přináší jednu velkou výhodu, a to možnost navrhování konstrukcí na velká rozpětí při zachování poměrně malých rozměrů výztužných nosníků. Na druhou stranu toto řešení přináší i nevýhody, a to hlavně aerodynamickou nestabilitu konstrukce, která je umocněna při

navržení nevhodného tvaru a rozměrů výztužného nosníku. Následkem může být rozkmitání konstrukce větrem.



Obrázek 17: Visutá dřevěná lávka přes Sázavu – Obec Zbořený Kostelec (Stavbaweb.cz, 2016)



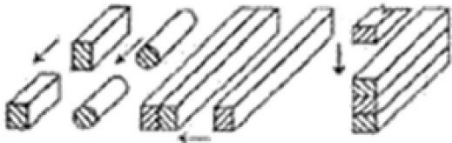
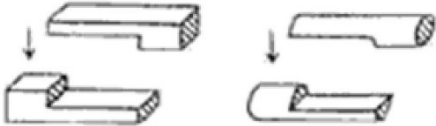
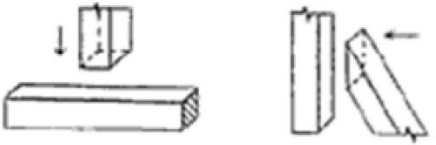
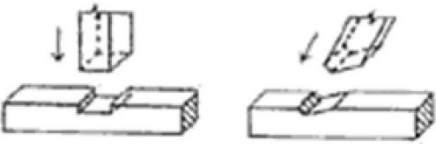
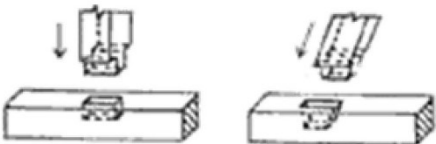
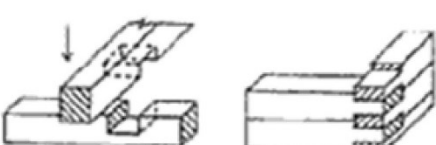


Obrázek 18: Visutá dřevěná lávka s výztužným nosníkem – Benešov u Semil (wikimedia.org, 2015)

3.3.3 Užívané konstrukční spoje a spojovací prostředky

Spoje a spojovací prostředky hrají velmi důležitou roli ve všech typech dřevěných nosných konstrukcí, mosty nevyjímaje. Prvky mostních konstrukcí se vždy spojovaly spojovacími prostředky a konstrukčními spoji, které nabízela daná doba s ní spojená úroveň technologie. Konstrukční spoje lze dle uspořádání rozdělit na nastavování, což je napojování prvků v podélném směru, sdružování, spojování prvků v příčném směru a spojování do styčnic, což je spojování prvků pod různými úhly v rovině a prostoru. Spojování prvků lze provádět pomocí opracování jednotlivých dílců a vytvoření takzvaných tesařských spojů, lepením jednotlivých prvků k sobě, dále za pomoci mechanických spojovacích materiálů, nebo kombinací dvou a vícero variant, přičemž kombinace tesařských spojů a mechanických spojovacích prostředků je dnes nejpoužívanější způsob. Dle charakteru působení lze konstrukční spoje dělit na spoje nepoddajné, což jsou spoje lepené a spoje poddajné, což jsou spoje tesařské v kombinaci s mechanickými spojovacími prostředky.

3.3.3.1 Tesařské spoje

Navzdory tomu, že tesařské spoje patří mezi nejstarší způsoby spojování dřevěných prvků, je tento typ spojů dodnes používán a konstrukce postavené za pomoci těchto spojů fungují většinou bez problémů dodnes. Spoje zpravidla fungují na principu přenášení sil kontaktním tlakem v místě spoje a třením. Kombinace s mechanickými spojovacími materiály je zde pouze z důvodu zajištění polohy, případně pro zajištění přenosu dodatečných sil. Z důvodu, že jsou tesařské spoje používány již po staletí, byly zpravidla navrhovány na základě zkušeností tesařů a konstrukčních předpisů. Jen velmi zřídka byly tyto spoje přesně počítány a navrhovány inženýry. I když bylo postupem času vyvinuto mnoho typů tesařských spojů, v dnešní době jsou používány jen některé z nich (Tabulka 2), (M. Augustin 2006). Tesařské spoje jsou velmi náročné z hlediska přesnosti opracování a jsou náchylné na velké změny vlhkosti materiálu, což má za následek bobtnání a sesychání. Tyto problémy se z většiny podařilo vyřešit masivní výrobou sušených konstrukčních hranolů a zavedením CNC do výroby dřevěných konstrukcí, které jsou schopny spoje vytvořit s přesností na desetiny milimetru.

Tabulka základních tesařských spojů		
Název	zobrazení	popis
Sraz		Spojované prvky se k sobě přiloží buď čely nebo podélnými plochami.
Plátování		Spojované prvky se stýkají části čel i podélných ploch (tzv. plátem).
Lípnutí		Spojované prvky se k sobě přiloží čelem na podélnou plochou.
Zapuštění		Čelo jednoho prvku se osadí do zářezu druhého prvku.
Čepování		V jednom prvku se vytvoří na konci čep a v druhém dlab.
Přeplátování		Oba prvky jsou po celé délce spoje vyříznuty. Hloubka přeplátování se rovná součtu hloubek zářezů.
Kampování		Vybrání v jednom prvku odpovídá výstupku v druhém prvku a hloubka kampování se rovná hloubce jednoho vybrání.
Osedlání		Prvky v různých rovinách. Jeden je opatřen zářezem (sedlem) druhý zpravidla není oslaben.

Tabulka 2: Tabulka základních tesařských spojů (Stavebnikomunita.cz, 2012)

3.3.3.2 Lepené spoje

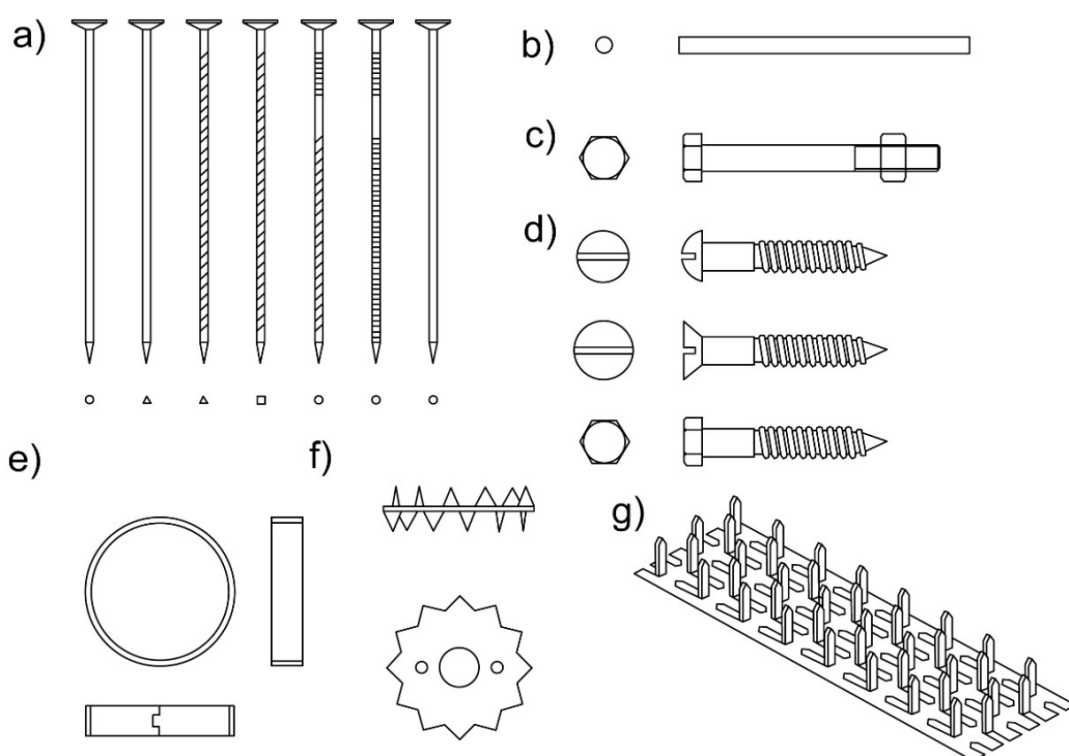
V případě dřevěných konstrukcí se s lepenými spoji lze setkat především u lepených lamelových hranolů (Obrázek 19), (Kuklík, 2005). Pro lepené spoje obecně platí, že samotná lepená spára musí vždy vykazovat větší pevnost než samotné dřevěné prvky, které jsou lepené. Základním požadavkem na použité lepidlo je vytvoření takové pevnosti spoje, aby odpovídala minimálně pevnosti dřeva ve smyku ve směru rovnoběžně s vlákny. Trvanlivost lepidla je třeba zvolit s ohledem na prostředí, kam bude konstrukce osazena a zároveň životnost lepidla by měla být vyšší, než životnosti konstrukce samotné (Studnička a Medřický, 1993). Díky těmto zásadám se hotový lepený prvek chová jako celek a lepené spáry nemají na mechanické vlastnosti žádné negativní vlivy. Nejpoužívanější lepidla pro lepení prvků stavebních konstrukcí jsou zpravidla lepidla založená na polykondenzaci: Melamin-formaldehydová lepidla – MF, Melamin-močovino-formaldehydová pryskyřičná lepidla-MUF, Močovino-formaldehydová lepidla – UF, RF a PRF lepidla. Druhým typem jsou lepidla založená na polyadici, a to Polyuretanová lepidla – PUR (M. Augustin, 2008). Lepení dřeva je jedním z největších důvodů, proč jsou dřevěné konstrukce schopny se poměřovat s železobetonovými a ocelovými konstrukcemi a proč dřevěné konstrukce obecně zažívají poslední roky renesanci.



Obrázek 19: Lepené lamelové dřevo: (*lepene-drevo-tramy-nosniky-hranoly-vazniky.cz*)

3.3.3.3 Spoje mechanickými spojovacími prostředky

Podle způsobu použití a přenosu sil ve spojích se mechanické spojovací prostředky dělí na typ kolíkový a povrchový. Prostředky kolíkového typu jsou při zatížení a přenosu sil namáhány na ohyb, stříh a jsou zatlačovány do dřeva. Únosnost těchto prvků je tedy dána ohybovou tuhostí materiálu, z kterého jsou vyrobeny a tuhostí a pevností dřeva. Do této skupiny prostředků zahrnujeme různé typy hřebíků, svorníky, závitové tyče, kolíky, vruty, šrouby, sponky apod. (Obrázek 20) (M. Augustin, 2008).



Obrázek 20: Některé z nejpoužívanějších mechanických spojovacích prostředků (Kuklík, 2005). a) hřebíky, b) kolík, c) svorník, d) šrouby/vruty, e) prstencový hmoždík, f) prstencový hmoždík, tzv. bulldog, g) deska s prolisovanými trny, tzv. gangnail

Kovové hřebíky jsou spolu s dřevěnými kolíky jedny z nejstarších spojovacích prostředků. Hřebíky různých typů zůstaly dodnes nejpoužívanějšími spojovacími prostředky v dřevěných konstrukcích. Vyrábí se v různých průměrech, délkách, a dokonce s drážkovaným povrchem pro zabránění vytažení-konvex. Hřebíky menších průměrů se do dřeva zatloukají, či střílí bez předvrtání. Tím se neoslabuje tloušťka průřezu. Hřebíky větších průměrů je již nutno předvrtat. Kolíky jsou ocelové tyče válcového průřezu, povrch je rovněž hladký, nebo lehce drážkovaný. Otvory pro kolíky jsou předvrtávány s minimální až nulovou odchylkou. Svorníky jsou spojovací

prostředky kolíkového typu, které jsou opatřeny závitem a z každé strany prvku jsou stahovány maticí, aby byly stahované prvky v těsném kontaktu. Při použití svorníků u materiálu, kde je předpoklad seschnutí je nutné po čase svorníky dotáhnout, někdy opakovaně. Oproti kolíkovým spojům jsou spoje svorníkové méně tuhé, jelikož jsou předvrtávány s větší vůlí pro jednodušší průchod závitu dřevem. Vrutky jsou konstrukčně založeny na hřebících, ale jejich konstrukce jim oproti hřebíkům dodává mnohem větší odolnost proti vytažení. Proto se používají hlavně na místech, kde hrozí odtržení připevňovaného prvku. Různé typy hmoždíků používáme v místech mezi dvěma prvky, kde potřebujeme zamezit jejich vzájemnému usmyknutí. Hmoždíky jsou zpravidla kombinovány se svorníkem, který prochází středem hmoždíku. Pro dnešní příhradové střešní konstrukce jsou používány desky s prolisovanými trny – gangnail. Pro spojování stavebních konstrukcí většího formátu, jako haly, mosty a rozhledny z lepených lamelových hranolů o velkých dimenzích jsou často užívány kombinace svorníku nebo kolíků a pozinkovaných plechů (Obrázek 21) o tloušťce od pár milimetrů až po několik centimetrů. Plechy mají buď vrtané otvory nebo otvory vypálené laserem, které korespondují s otvory v dřevěných prvcích. Možností je i použití samovrtných kolíků.



Obrázek 21: Kombinace svorníků a ocelových plechů – Lávka přes studenou Vltavu (Idnes.cz 2013)

4 Metodika

K dosažení vytyčených cílů práce byla zvolena a dodržena následující metodika. V první části byl vypracován literární přehled, který přiblížil a rozebral problematiku dřevěných mostních konstrukcí a jejich historický vývoj v porovnání s dnešními konstrukcemi.

Pro samotné vypracování bylo nutné najít vhodné místo pro umístění konstrukce. Od vedení obce vybrané lokality, je-li to možné, a na dostupných internetových portálech, například edpp.cz, geology.cz, mapy.cz, cuzk.cz a další je třeba dohledat a vzít v potaz limity a požadavky daného místa a jeho blízkého okolí. Následně je vypracován konstrukční návrh, který jasně určí vhodný typ konstrukce, použité materiály, dimenze prvků, umístění a typ konstrukčních spojů, vhodnou ochranu před biotickými a abiotickými činiteli atd. Konstrukční návrh probíhá navrhováním jednotlivých částí lávky. Výstupem konstrukčního návrhu je 3D model z programu SEMA s veškerými konstrukčními spoji, definovanými druhy materiálů a výpisem prvků pro objednání dřeva a oceli. 3D model lze následně exportovat přímo na tesařské CNC pro výrobu všech dřevěných prvků konstrukce. Druhým výstupem jsou montážní výkresy založené na stejném 3D modelu, je tedy minimalizována možnost, že by se tyto 2 výstupy lišily a došlo ke komplikacím při výrobě, a především potom při montáži. Třetím výstupem jsou cenová kalkulace celé konstrukce, kde je porovnání cen za výrobu a montáž původní ocelové konstrukce s cenou výroby a montáže navržené konstrukce a rovněž celkové zhodnocení navržené konstrukce s ohledem na zvolený typ konstrukce a navržené materiály.

Pro zpracování popsané metodiky práce je použit program SEMA (program pro navrhování dřevěných konstrukcí, dřevostaveb apod. a jejich následnou výrobu na CNC), dále program pro export na tesařské CNC – K2 Hundegger dřevoobráběcí linky a pro vypracování cenové kalkulace na základě výpisů ze zmíněných programů je použit program Microsoft Excel.

5 Lokalita konstrukce

Lokalita konstrukce, ať už se jedná o jakýkoliv typ, má vždy zásadní vliv na celý průběh od návrhu, až po samotnou realizaci. Každá takováto konstrukce by měla v dané lokalitě dobře zapadnout do krajiny jak po estetické, tak po architektonické stránce a při tom co nejlépe plnit svou funkci. Proto je klíčové se dokonale seznámit s konkrétní lokalitou, dbát na požadavky území, zadavatele a respektovat okolí konstrukce.

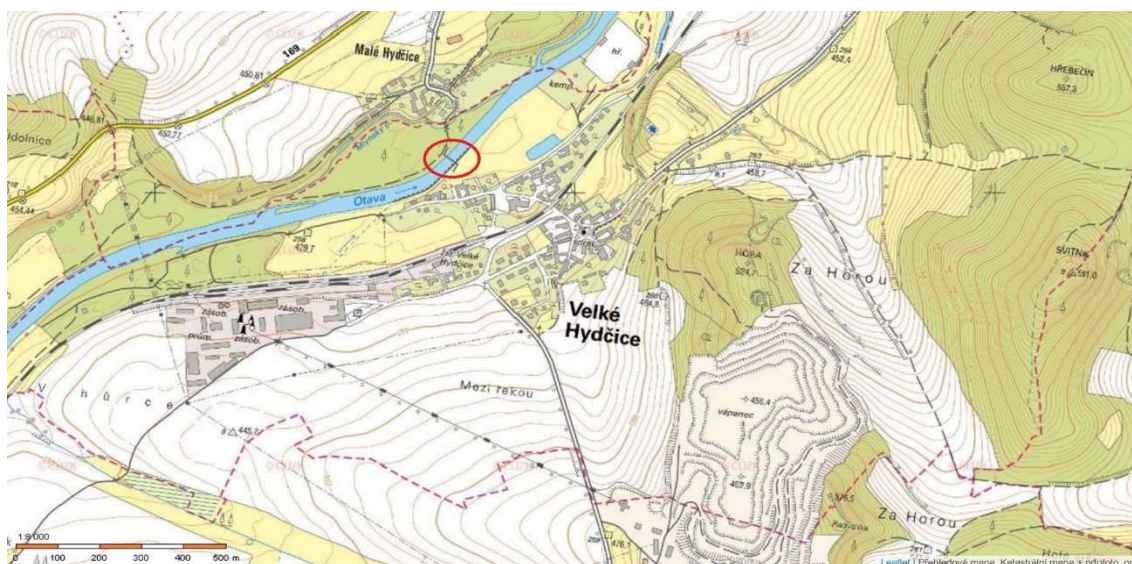
5.1 Vybraná lokalita lávky

Vybraná lokalita se nachází v Plzeňském kraji v Klatovském okrese poblíž města Horažďovice, a to na katastrálním území obce Velké Hydčice (Obrázek 22 a Obrázek 23). Jedná se o 77. říční kilometr řeky Otavy. Na pravém břehu se nachází obec Velké Hydčice, na břehu levém potom Malé Hydčice. O 500 m po proudu na pravém břehu se nachází tábořiště, fotbalové a dětské hřiště. O 1 km výše po pravém břehu se nachází továrna firmy HASIT-Šumavské vápenice a omítkárny napojena na nedaleký lom. Mnoho zaměstnanců spoléhá právě na lávku spojující Malé Hydčice s Velkými, jelikož její nepřítomnost by pro mnoho z nich znamenala o přibližně 10 km delší cestu do zaměstnání. Obě strany řeky lemuje Otavská cyklostezka, pro kterou je lávka v tomto místě rovněž velmi důležitá.

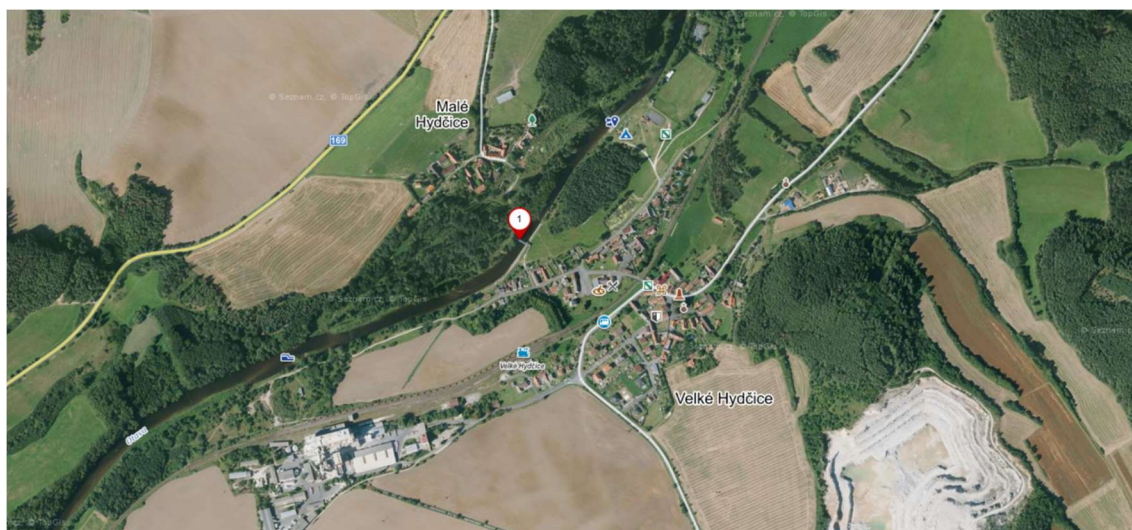


Obrázek 22: Mapa s vyznačenou polohou lávky ve Velkých Hydčicích (Mapy.cz, 2020)

Toto místo bylo pro umístění lávky vybráno z několika důvodů. Hlavním důvodem je přítomnost současné lávky, která je již třeba nahradit a nabízí se využití částí její spodní konstrukce, a to železobetonových pylonů. Dalším důvodem je přímé napojení lávky na Otavskou cyklostezku (č. 2111, 312), která vede směrem z města Sušice do Strakonice. Cyklostezka je hojně frekventována po většinu roku a cyklisté a turisté na toto přemostění spoléhají. Neposledním důvodem je závislost mnoha lidí na spojení Malých a Velkých Hydčic, a tedy nutnost zachování funkční a bezpečné lávky na tomto místě. Mnoho zaměstnanců dojíždí do firmy HASIT (Obrázek 24) ze strany od Malých Hydčic a možnost parkovat v Malých Hydčicích a využívat lávku pro cestu do zaměstnání je pro mnoho z nich úsporou jak časovou, tak finanční. V neposlední řadě lávka umožňuje přístup k Hydčickému vlakovému nádraží, zejména občanům Malých Hydčic.



Obrázek 23: Katastrální výřez území Velkých Hydčic (cuzk.cz, 2020)



Obrázek 24: 2. Mapa s vyznačenou polohou lávky ve Velkých Hydčicích (Mapy.cz, 2020)

5.1.1 Konkrétní umístění konstrukce

Konkrétní místo pro umístění lávky se shoduje s pozicí současné ocelové lávky, která leží přibližně 500 m od vodáckého tábořiště (Obrázek 25). Terén zde není příliš prorostlý vegetací a říční koryto není v tomto místě příliš široké. Lávka přímo navazuje na konstrukce přístupových ramp, které jsou v úhlu 75°-90° na směr lávky a navazují na parkoviště v Malých Hydčicích a místní účelové komunikace obou obcí (Obrázek 26).



Obrázek 25: Mapa s přesným vyznačením současné a budoucí konstrukce (Mapy.cz, 2020)



Obrázek 26: Mapa 2 s přesným vyznačením současné a budoucí konstrukce (Mapy.cz, 2020)

GPS souřadnice místa konstrukce: 49.3006211N, 13.6635019E

6 Podklady a požadavky pro návrh lávky

Konstrukční návrh lávky je založen na podkladech poskytnutých obcí Velké Hydčice, která byla objednatelem současné, ocelové lávky. K dispozici je cenová kalkulace původní lávky a Hydrotechnické podmínky pro lávku na tomto místě. Pro zaměření stávající konstrukce a vytvoření podkladu pro tvorbu výrobní a montážní dokumentace v programu SEMA byl použit laserový skener 3D DISTO, od společnosti Leica.

6.1 Hydrotechnické podmínky

Dle pokynů povodí řeky Otavy je směrodatným dokumentem pro navrhování konstrukce lávky ČSN 73 6201 (2008) Projektování mostních objektů. Správcem toku posuzované projekty jsou posuzovány právě z hlediska, zda jsou konstrukce navrženy v souladu s touto normou. Zmíněná norma udává požadované výškové a půdorysné uspořádání mostních konstrukcí ve vztahu k danému toku. Dle normy se mostní konstrukce mají navrhovat tak, aby po dokončení nebyly překážkou přirozenému toku vody, a to při všech odtokových stavech. Dalším doporučením je navrhování mostních konstrukcí tak, aby základy konstrukce nezasahovaly do průtočného profilu koryta toku a neměnily tak poměry proudění a charakter toku ovlivnily co nejméně.

Hlavními podklady pro návrh mostní konstrukce přes říční tok jsou hodnoty návrhového průtoku, kontrolního návrhového průtoku, návrhové hladiny a kontrolní návrhové hladiny a požadované volná výška nad těmito hladinami. Tyto údaje vycházejí ze standardních hydrologických údajů dané lokality o N-letých průtocích. Údaje o průtocích pro lokalitu Velké Hydčice jsou k dispozici na elektronickém digitálním povodňovém portálu České republiky.

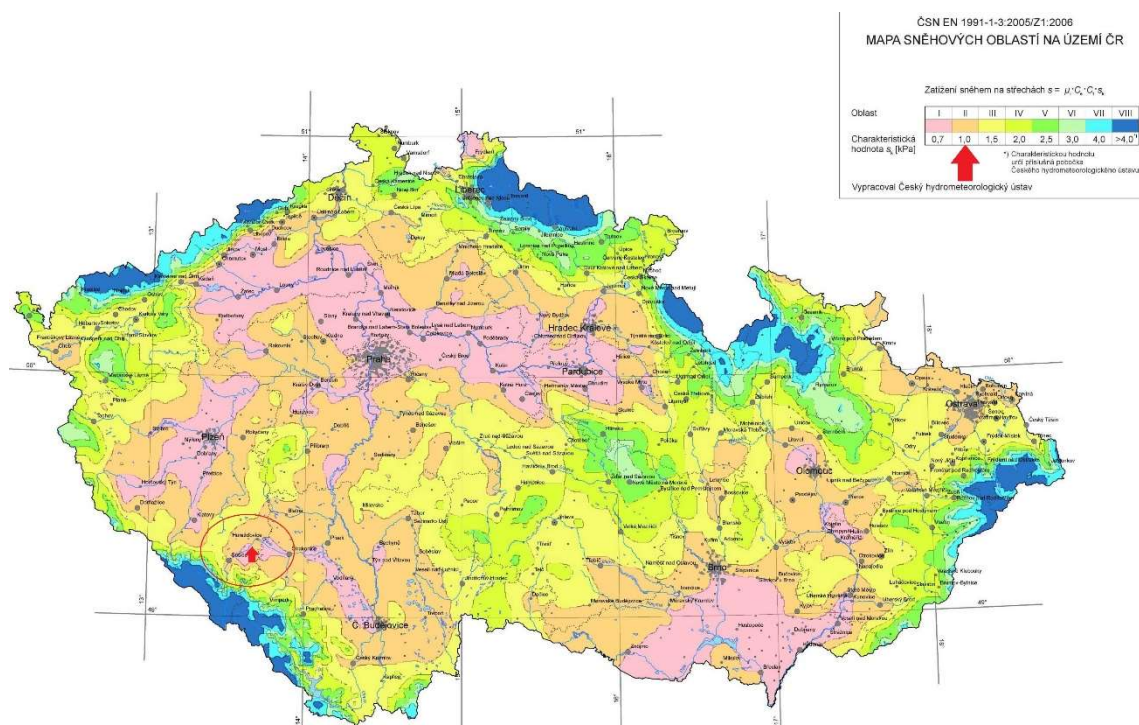
Jelikož minimální volná výška byla na tomto místě určena již pro současnou ocelovou lávku v roce 2007, a to 1,1 m nad hladinou staleté vody danou průtokem Q100 inundací řeky Otavy, byla tato hodnota použita i pro konstrukční návrh varianty z lepeného lamelového dřeva. Hladina průtoku Q100 je dána výškou 429,2 m n.m. ve výškovém profilu Bpv. Minimální volná výška lávky, tedy nejnižší spodní hrana celé konstrukce je 430,3 m n. m.

6.2 Geotechnické podmínky

Podle geologické mapy z portálu (Geofond, 2020) se v místě vodního toku nachází fluvialní hlinitopísčité sedimenty, deluviofluvialní hlinité písky až písčité hlíny a fluvialní písčité štěrky. Z geologického hlediska se zde nenachází žádná chráněná území. Z hlediska realizace nové dřevěné konstrukce není předpoklad žádných zásahů do půdy v blízkém okolí lávky.

6.3 Klimatické podmínky a provoz

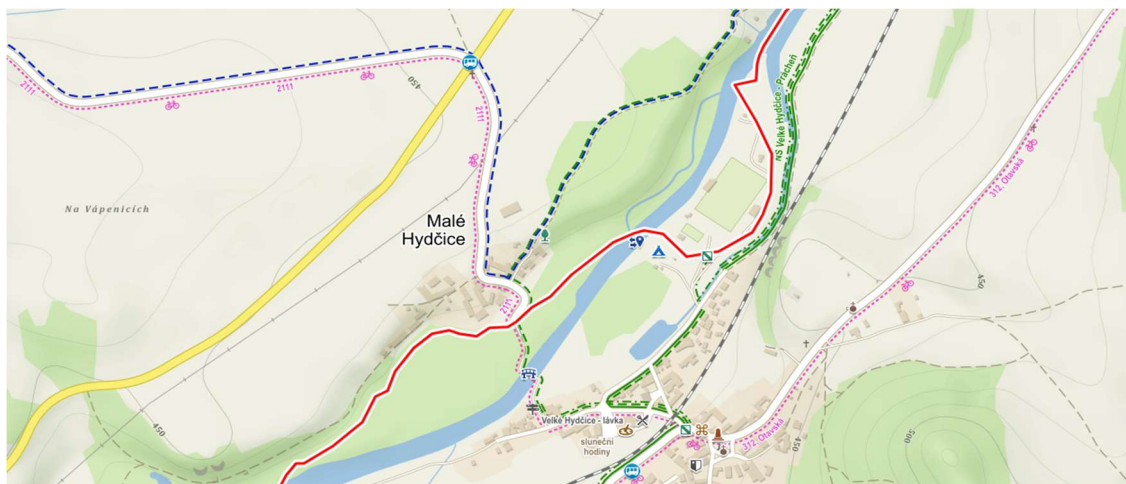
Server EDPP (elektronický digitální povodňový portál) uvádí, že dle Quittova členění, spadají Velké Hydčice mezi mírně teplé oblasti MT5. Průměrná roční teplota se pohybuje okolo 8 °C, průměrný roční úhrn srážek se pohybuje mezi 600–700 mm, přičemž ve vegetačním období v průměru spadne 350–450 mm srážek. V letních měsících lze očekávat výrazné navýšení využití lávky. V tomto období je v provozu blízké vodácké tábořiště a Otavská cyklostezka je nejfrekventovanější právě v teplých měsících. Z hlediska zatížení sněhem se lávka nachází v lokaci na hranici prvního a druhého stupně zatížení sněhem (Obrázek 27).



Obrázek 27: Mapa sněhových oblastí ČR s vyznačenou polohou konstrukce (snihnastrese.cz, 2020)

6.4 Dopravní infrastruktura

Přibližně 400 metrů od Malých Hydčic směrem od levého břehu řeky Otavy je silnice II. třídy číslo 169. Někteří lidé z okolních obcí využívají tuto komunikaci pro přesun do Malých Hydčic a následně lávku pro výrazné zkrácení cesty do Velkých Hydčic. Podél levého břehu po proudu, směrem od Horažďovic k Malým Hydčicím, vede turistická trasa přes Horažďovický anglický park, která je hojně využívána jak pěšími turisty, tak cyklisty. Dále pak přes Malé Hydčice a lávku do Hydčic Velkých vede rovněž velmi frekventovaná cyklostezka č. 2111 (Obrázek 28).



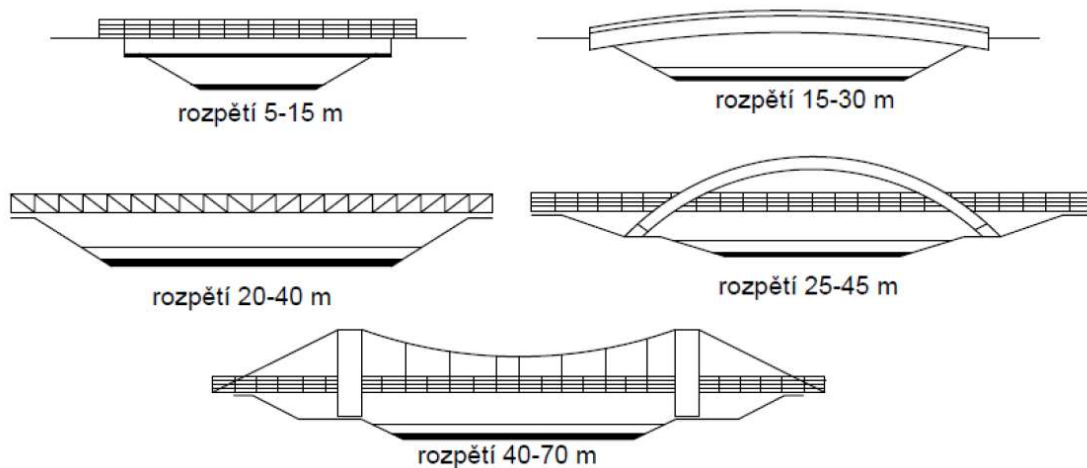
Obrázek 28: Turistická mapa blízkého okolí lávky (Mapy.cz, 2020)

7 Konstrukční návrh lávky

Při konstrukčním návrhu lávky je třeba respektovat a dbát na požadavky, jejichž splnění je určitou zárukou dosažení ideálních užitných vlastností dané konstrukce. Dle Kuklíka (2005) se jedná především o požadavky plynoucí z tvaru terénu v blízkém okolí konstrukce, základové poměry, rozpětí lávky, uvažovaná zatížení, světlý profil lávky a architektonický tvar konstrukce.

7.1 Volba vhodného typu konstrukce

Při volbě typu konstrukce pro konkrétní případ je zpravidla hlavním rozhodujícím faktorem požadované rozpětí lávky (Obrázek 29). Při využití části původních železobetonových podpor současné lávky je zapotřebí lávka s rozpětím 27,3 m navazující na konstrukce ramp. Při volbě konstrukce byly jako první vyřazeny konstrukce, které by vyžadovaly střední podporu a bránily by tak přirozenému toku řeky.



Obrázek 29: Schémata typů konstrukcí bez nutné střední podpory, rozděleny podle rozpětí (CB stavby, 2014)

Vzhledem k rozpětí, které je potřeba překonat se jako ideální volba jeví oblouková konstrukce. Pro rozpětí je tento typ konstrukce dostačující a z ekonomického a rychlosti výroby a výstavby je ideální volbou. Vzhledem k současné výšce ramp a mostovky byla zvolena konstrukce se spodní zavěšenou mostovkou. Princip konstrukce spočívá ve dvou nosných obloucích, spojených ve vrcholu lávky ocelovým kloubem. Mostovka je pod nosníky vyvěšena přes svislé pruty, které zatížení mostovky přenáší do nosných oblouků, a ty jej přenáší do podpor lávky. U tohoto typu konstrukce je potřeba klást zvýšený důraz na zabezpečení tuhosti oblouků v příčném směru. Vhodné je tedy v tomto případě příčné zavětrování konstrukce.

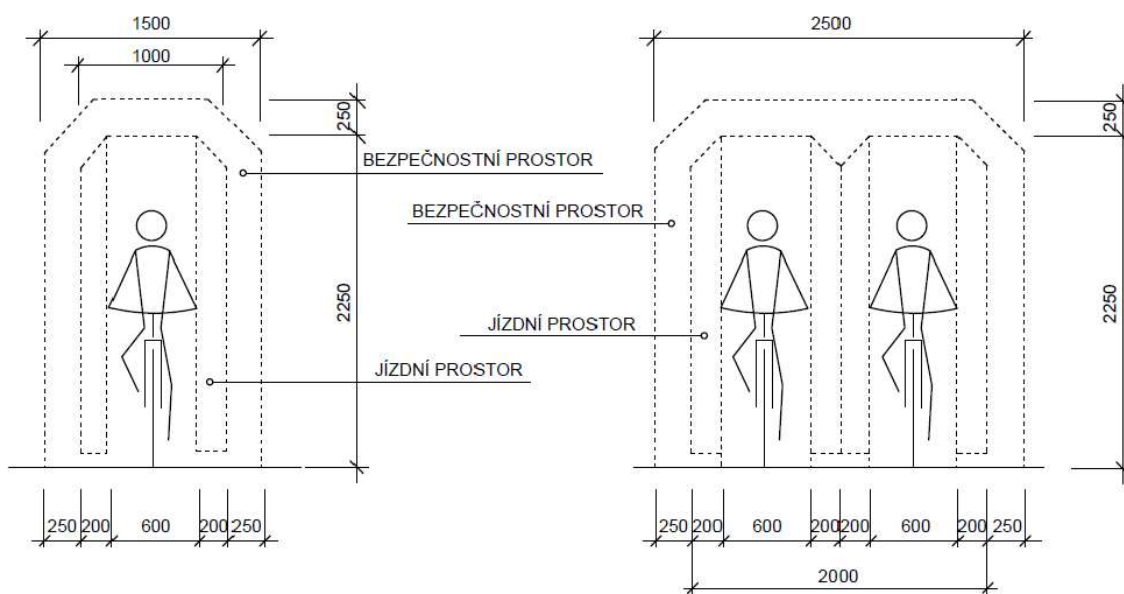
Dalším kritériem, které by nemělo být opomenuto u návrhu jakékoliv dřevěné konstrukce je konstrukční a chemická ochrana dřevěných prvků konstrukce. Úrovně konstrukčních a chemických způsobů ochrany dřeva jsou závislé na třídě provozu dané konstrukce. Pro první třídu provozu platí, že vlhkost materiálů odpovídající teplotě 20 °C a relativní vlhkosti okolního vzduchu přesahuje 65 % pouze po několik týdnů v roce, přičemž průměrná vlhkost jehličnatého dřeva nepřesahuje 12 %. V druhé třídě provozu vlhkost materiálů při teplotě 20 °C a relativní vlhkosti okolního vzduchu přesahuje 85 % rovněž po několik týdnů v roce. Průměrná vlhkost jehličnatého dřeva zde nepřesahuje 20 %. V třetí třídě provozu, kam spadají právě mosty a lávky, vedou klimatické podmínky k vyšším vlhkostem a delším časovým intervalům než ve druhé třídě provozu (ČSN EN 1995-1-1, 2006). Dřevu obecně hrozí poškození biotickými a abiotickými činiteli. Pokud je konstrukce vystavena častým a výrazným změnám vlhkosti, jako je tomu v třídě provozu 3, riziko se výrazně zvyšuje. Poškození dřeva následkem těchto činitelů často

vede ke změnám mechanických vlastností dřeva, vzhledu, rozměrů atd. Je proto nezbytné, aby součástí návrhu konstrukce samotné bylo i navržení vhodné konstrukční ochrany dřevěných prvků konstrukce. Pokud situace nedovoluje použití konstrukční ochrany nebo není možná, přistupujeme k ochraně chemické. Chemickou ochranu dřeva tvoří již samotné povrchové úpravy prvků konstrukce (Ptáček 2009). Při použití obloukové konstrukce není vhodné zastřešování celé konstrukce. Jako ideální varianta konstrukční ochrany se jeví vhodná volba dřevin pro různé části konstrukce, konstrukční ochrana, jako oplechování částí konstrukce pro ochranu proti povětrnostním vlivům a použití chemické ochrany. Zvolené ochrany dřeva budou rozebrány a popsány v jedné z následujících kapitol.

7.2 Návrh příčného profilu lávky

Úkolem lávky bude zabezpečit bezpečný přesun chodců a cyklistů z jednoho břehu na druhý. Z těchto údajů vychází její šířkový, příčný profil. Určování příčných rozměrů lávky je tedy založeno na šířce běžného jízdního kola – 0,6 m, na potřebném prostoru okolo kola pro bezpečné manévrování – 2x0,2 m a bezpečnostní prostor 2x0,25 m. návrhová šířka jízdního pruhu cyklisty je tedy 1,00 m. Nutná volná výška pro cyklistu je potom nejméně 2,5 m (Bartoš, 2006). Toto jsou doporučení, která je třeba respektovat právě při navrhování komunikací pro cyklisty a konstrukcí, které jsou jejich součástí. Při navrhování komunikací pro společný provoz cyklistů je potom potřeba celková šířka 3,00 m a více. Ovšem při snížené intenzitě cyklistů $\leq 50/h$ a chodců $\leq 100/h$ se šířka komunikace, stezky může upravit na pouhé 2,00 m. Při výjimečných situacích, kdy jsou poměry opravdu stísněné lze jít až na pouhých 1,75 m (Kotásková a Hruža, 2013).

Norma ČSN 73 6201 (2008) jako minimální šířku trvalých lávek udává 2,00 m a minimální volnou výšku lávky 2,50 m. Navrhovaná lávka je součástí cyklostezky, proto je nutné, aby splňovala požadavky na průjezdný profil jízdního kola a cyklisty, který nesmí být narušován žádnými předměty ani pevnými překážkami. Navrhovaná lávka bude používána pro oboustranný provoz cyklistů, proto byla zvolena volná šíře lávky 2,00m.



Obrázek 30: Volný šířkový a výškový prostor pro jednostranný a oboustranný provoz cyklistů (Bartoš, 2006)

7.3 Návrh konstrukce zábradlí

Součástí konstrukce je dřevěné zábradlí s madlem ve výšce 1,1 m od horní hrany pochozí vrstvy mostovky. Celá konstrukce zábradlí je rozdělena na několik menších segmentů, jednotlivé části jsou vkládány mezi svislé pruty lávky, které přenáší zatížení mostovky a zábradlí do nosných oblouků. Samotné zábradlí je tvořeno dvěma vodorovnými hranoly, které jsou kotveny mezi sousední svislé pruty. Na horním hranolu je vždy umístěno madlo, které je předem pod úhlem seříznuto a vyspádováno ven z lávky, a to směrem kolmo ke směru lávky pro zamezení setrvání vody na konstrukci a pro zabezpečení jejího bezproblémového odtoku. Z vnější strany je na horní a dolní nosný hranol zábradlí kotvena výplň zábradlí, formou úzkých latěk. Celé zábradlí je navrženo ze sušeného a hoblovaného modřínového řeziva. Veškeré prvky jsou opatřeny třemi nátěry impregnace a tenkovrstvé lazury.

7.4 Konstrukce přístupových ramp

Na obou koncích současné lávky jsou zkonstruovány rampy s ocelovou nosnou konstrukcí a dřevěnou pochozí konstrukcí. Při realizaci nové, dřevěné lávky by se současné konstrukce ramp zachovaly a došlo by k jejich revitalizaci formou nátěrů spodní ocelové konstrukce, všech dřevěných částí ramp a výměnou poškozené pochozí vrstvy, která je nyní ze smrkového řeziva a kvůli rychlé degradaci a časté obměně jednotlivých hranolů bylo jako náhrada zvoleno sušené, hoblované dubové dřevo. Pochozí vrstva by následně korespondovala s mostovkou nové lávky. Při montáži a osazení lávky je tedy klíčové zabezpečit jednotnou výšku mostovky a pochozí vrstvy samostatných ramp. Horní hrana konstrukce zábradlí ramp je rovněž 1,1 m od horní hrany pochozí vrstvy.

7.5 Nutné úpravy blízkého okolí lávky

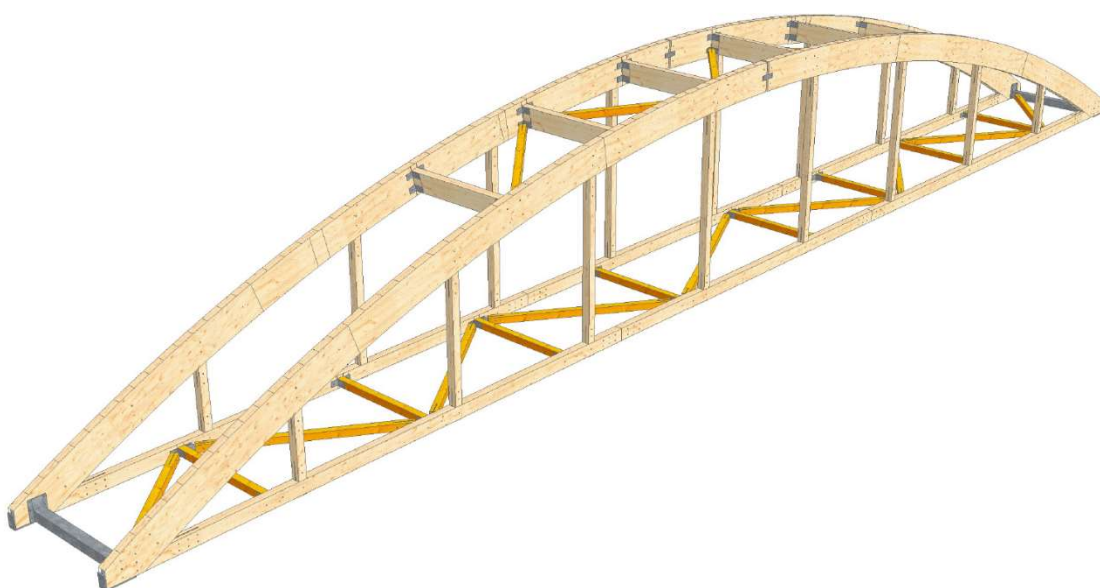
Před samotnou výstavbou nové lávky je nutno provést několik a úprav. Současné podpory ocelové lávky je nutné upravit a na jejich základech dobetonovat železobetonové pilíře do výšky uložení nové lávky.

7.6 Základní návrh konstrukce

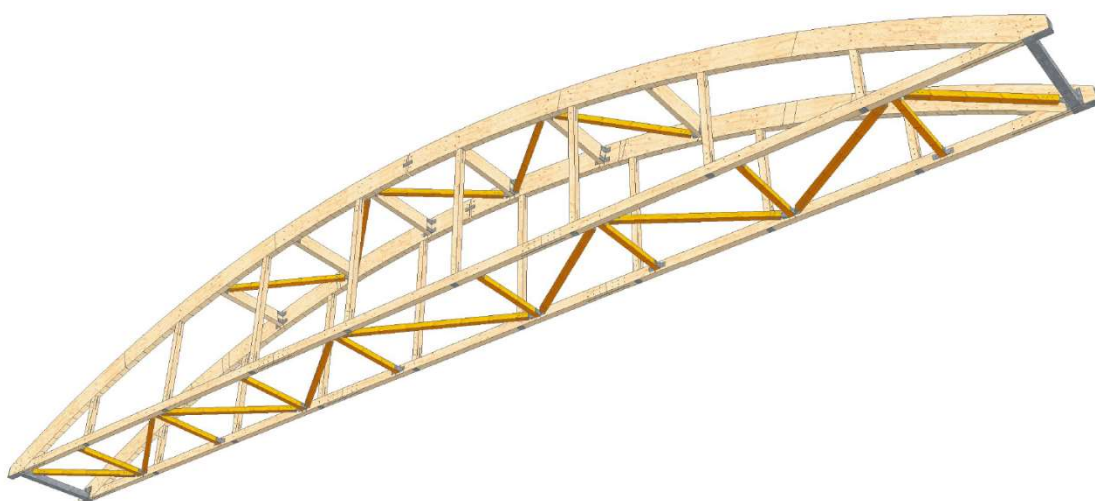
Na základě zdůvodnění v předchozích kapitolách byla pro navrhovanou lávku zvolena oblouková mostní konstrukce se zavěšenou spodní mostovkou. Tento typ konstrukce je vzhledem k rozpětí, které potřebujeme překonat, z ekonomického a vizuálního hlediska nejvhodnějším typem konstrukce pro naše účely. Zvláštní pozornost si u tohoto typu konstrukce zaslouží zavětrování (ČSN EN 1995-1-1, 2006).

Hlavní princip obloukové konstrukce je přenos veškerých sil do nosných oblouků, které jsou stěžejními prvky konstrukce. Mostovka je na tyto oblouky zavěšena přes svislé pruty, které přenáší veškerá zatížení mostovky do oblouků a ty je následně přenáší do železobetonových pilířů, na kterých je lávka usazena. Pochozí vrstva mostovky je tvořena dubovými fošnami pro docílení maximální odolnosti a životnosti. Spodní rám mostovky je pevně spojen s konci oblouků a každý ze dvou oblouků je tvořen ze dvou částí, které se v polovině oblouků spojují ocelovým kloubem. Spodní rám mostovky je pod pochozí vrstvou zavětrován příčnými ztuženími s použitím částečně krytých ocelových spojů formou vkládaných žárově zinkovaných plechů a s použitím výhradně nerezových

spojovacích prostředků. Spoje s vkládanými ocelovými plechy jsou navrženy v celé konstrukci. Jde o kombinaci velmi efektivního a zároveň z většiny skrytého konstrukčního spoje. V horní části lávky je vzdálenost mezi oblouky vymezena několika masivními hranoly umístěnými mezi oblouky kolmo na ně. S nejnižším hranolem umístěným tak, aby nebyla průjezdná a průchodná výška menší než 2,5 m. Hranoly jsou s oblouky spojeny rovněž ocelovými, zároveň zinkovanými T-plechy a úhelníky v kombinaci s nerezovými svorníky. Pole mezi těmito hranoly jsou dále využity pro zavětrování horní poloviny lávky obdobným způsobem, jako je zavětrován spodní rám lávky (Obrázek 31 a Obrázek 32).



Obrázek 31: Navržená konstrukce – žlutě vyznačené zavětrování (SEMA-autor DP, 2020)



Obrázek 32: Navržená konstrukce – žlutě vyznačené zavětrování (SEMA-autor DP, 2020)

Základní parametry navržené lávky:

- rozpětí a délka: 27,34 m
- celková šířka: 2,28 m
- výška: 3,95 m
- nejnižší volná výška na lávce 2,5 m
- šířka mezi zábradlím: 2,0 m

7.6.1 Návrh dimenzí

Statické posouzení konstrukce nebylo provedeno z důvodu, že práce a její cíle byly zaměřeny především na tvorbu 3D modelu s jeho přímým exportem do CNC obráběcího centra Hundegger K2i a možností přesného vyrobení všech dřevěných prvků konstrukce, dále na vytvoření montážní dokumentace a pro sestavení celé konstrukce a na vytvoření podrobné cenové kalkulace výroby a montáže celé konstrukce.

Dimenze prvků byly tedy určeny jako předpokládané, čistě pro účely této práce.

7.6.2 Použité materiály

Na nosné oblouky, jejich rozpěry, spodní nosníky mostovky a svislé pruty lávky je použito lepené lamelové dřevo. Pro konstrukce tohoto typu a zejména pro nosné prvky se dnes již jedná o standartní materiál. Na prvky zábradlí a prvky zavětrování je použito rostlé modřínové dřevo. Pro docílení lepší objemové stálosti, a především přesnosti rozměrů bude veškerý rostlý materiál, který bude obráběn na tesařském CNC K2i Hundegger předem sušen a následně hoblován na přesné rozměry. Z výrobního hlediska je minimálně hoblování na přesné rozměry klíčové, abychom byli schopni pracovat s milimetrovou přesností pro kombinaci dřeva, ocelových spojů a spojovacích prostředků. Na pochozí část mostovky je navrženo velmi odolné a trvanlivé sušené, hoblované dubové dřevo, které bude po sušení, hoblování a drážkování horní strany tlakově naimpregnováno.

Dubové a modřínové hranoly jsou u vodního stavitelství nejčastěji používané a vzhledem k jejich vlastnostem i nejvhodnější volbou (Studnička a Medřický, 1993). Modřínové dřevo vyniká svou trvanlivostí a odolností proti velkému kolísání vlhkosti

v jeho okolí. Z těchto důvodů se jedná o ideální materiál pro konstrukce vystavené povětrnostním vlivům. Dubové dřevo je velmi tvrdé, pevné, houževnaté a trvanlivé. Ve stavebnictví ho lze uplatnit i na velmi namáhané konstrukční prvky (Straka, 1996).

Čtyři části nosných oblouků a jejich rozpěry budou vyrobeny z lepeného lamelového dřeva. Lepené lamelové dřevo má oproti rostlému materiálu vyšší únosnost, rozměrovou stálost, přesnost, odolnost a v neposlední řadě je vhodnější i po vizuální stránce. Je navrženo lepené lamelové dřevo s pevnostní třídou GL28, s homogenním průřezem a v pohledové kvalitě Si. Lepené lamelové dřevo je zpravidla dodáváno od šířky 80 mm do 280 mm a výškách prvků od 120 do 1280 mm, odstupňováno po 40 mm, což je výška jedné lamely. Dostupnost dimenzí se liší v závislosti na výrobních možnostech výrobce. Smrkový materiál pro jeho výrobu je strojně tříděn a případně zbaven vad, které by měly negativní vliv na pevnost apod. Lepené lamelové dřevo se standartně dodává v normované vlhkosti 12 % +/- 2 %. Dle možností jednotlivých výrobců je možná i výroba modřínového lepeného lamelového dřeva. V dnešní době je většina dodavatelských firem pro Českou republiku z Rakouska a Německa. Pro lepení lamel jsou zpravidla používána melaminformaldehydová lepidla s transparentní spárou mezi lamelami (Theurl, 2013).

Pro veškeré ocelové spoje lávky bude použita standartní stavební ocel třídy 10 s úpravou žárovým zinkováním. Spojovací prostředky, jako vruty, svorníky apod. budou použity výhradně z nerezové oceli.

7.7 Návrh konstrukčních prvků lávky

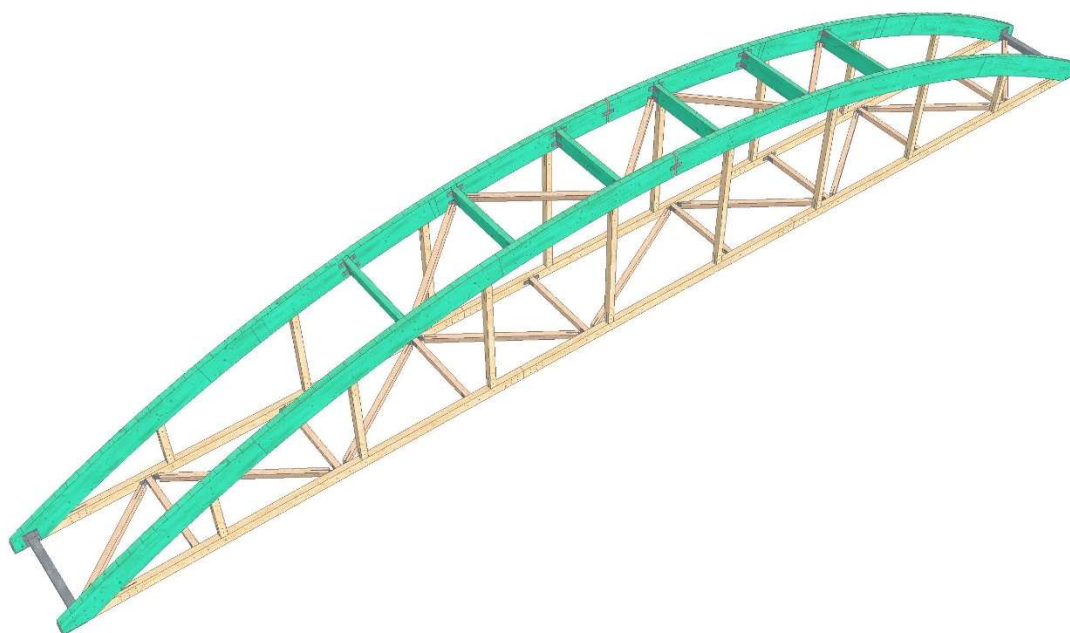
V nadcházejících podkapitolách je popsáno a vysvětleno provedení jednotlivých konstrukčních prvků konstrukce, včetně jejich rozměrů, materiálů, spojů, působení a funkce v konstrukci. Přesné rozměry jednotlivých částí lávky, jejich způsoby spojení, popsané spoje a provázání jednotlivých prvků jsou uvedeny v příloze práce: Montážní dokumentace.

7.7.1 Nosné oblouky lávky

Dva hlavní nosné prvky lávky jsou oblouky z lepeného lamelového dřeva s pevnostní třídou GL28, homogenního průřezu a v pohledové kvalitě Si. Předpokládáné

dimenze oblouků jsou 140 x 520 mm. Každý z oblouků je složen ze dvou částí, které jsou ve vrcholu oblouku spojeny ocelovým kloubem. Délka horní hrany jedné části oblouku je 14,3 m k patce oblouku, délka spodní strany jedné části oblouku je 13,68 m k patce oblouku. Půdorysně každá část oblouku překonává 13,65 m a volný prostor pro ocelový kloub mezi dvěma částmi oblouku je 50 mm. Výrobně budou oblouky připraveny pro napojení konstrukce vyvěšení přes svislé pruty rovněž z BSH, a to vytvořením dlabů a navrtáním pro vložení ocelových plechů. Stejným způsobem budou připraveny patky oblouků pro napojení na podélné nosníky a ocelové patky. Tyto patky budou použity k uložení lávky na betonové opěry, kde budou umístěna ložiska pro umožnění drobných rozměrových změn. Jak patky, tak ložiska lze použít ve 3. třídě provozu.

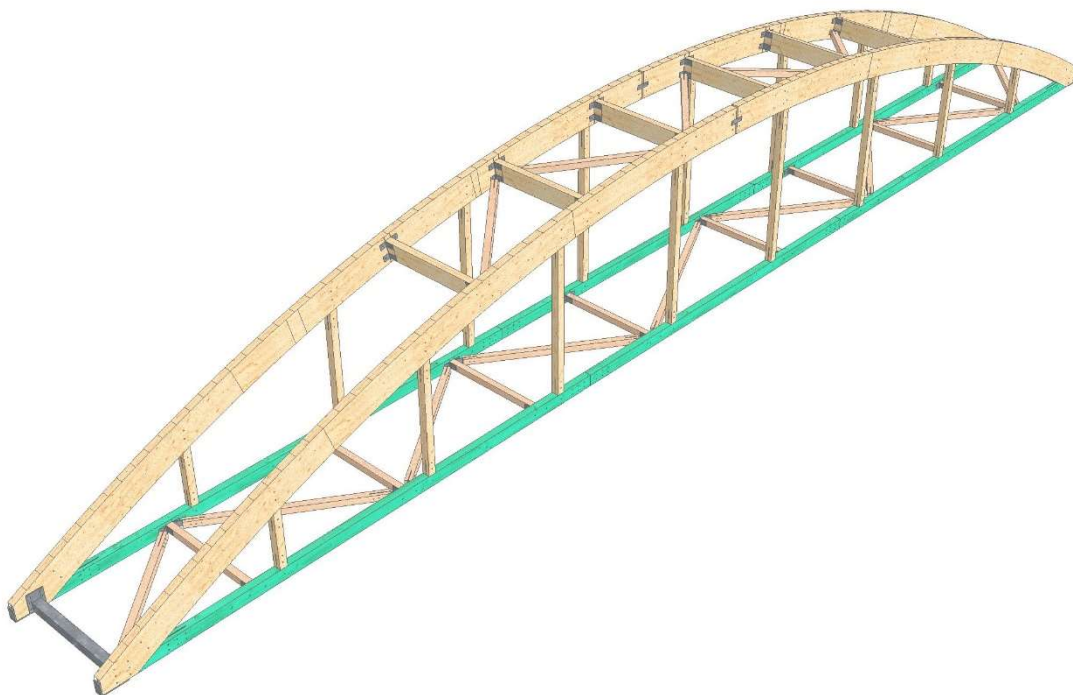
Spodní části oblouků, patky, jsou seříznuty vodorovně a svisle pro usazení do ocelových patek (viz montážní dokumentace lávky), které vymezují vzdálenost mezi oblouky a pevně určují šíři lávky. Kromě spodních usazovacích patek se o vymezení vzdálenosti mezi oblouky stará šestice rozpěr, které jsou rovněž z BSH hranolů GL28h a jsou kladeny mezi oblouky v kolmém směru (Obrázek 33). Předpokládané dimenze těchto rozpěr jsou 120 x 360 x 2000 mm. K obloukům je každá rozpěra kotvena přes 4 kusy ocelových úhelníků, přičemž horní dvojice úhelníků se zde pouze pro fixaci rozpěry a u spodní dvojice T-kování se jedná o kombinaci úhelníku a ocelového vrtaného plechu, který je dále použit pro kotvení horní konstrukce ztužení mezi jednotlivými rozpěrami.



Obrázek 33: Nosné oblouky a jejich rozpěry (SEMA-autor DP, 2020)

7.7.2 Podélné nosníky mostovky

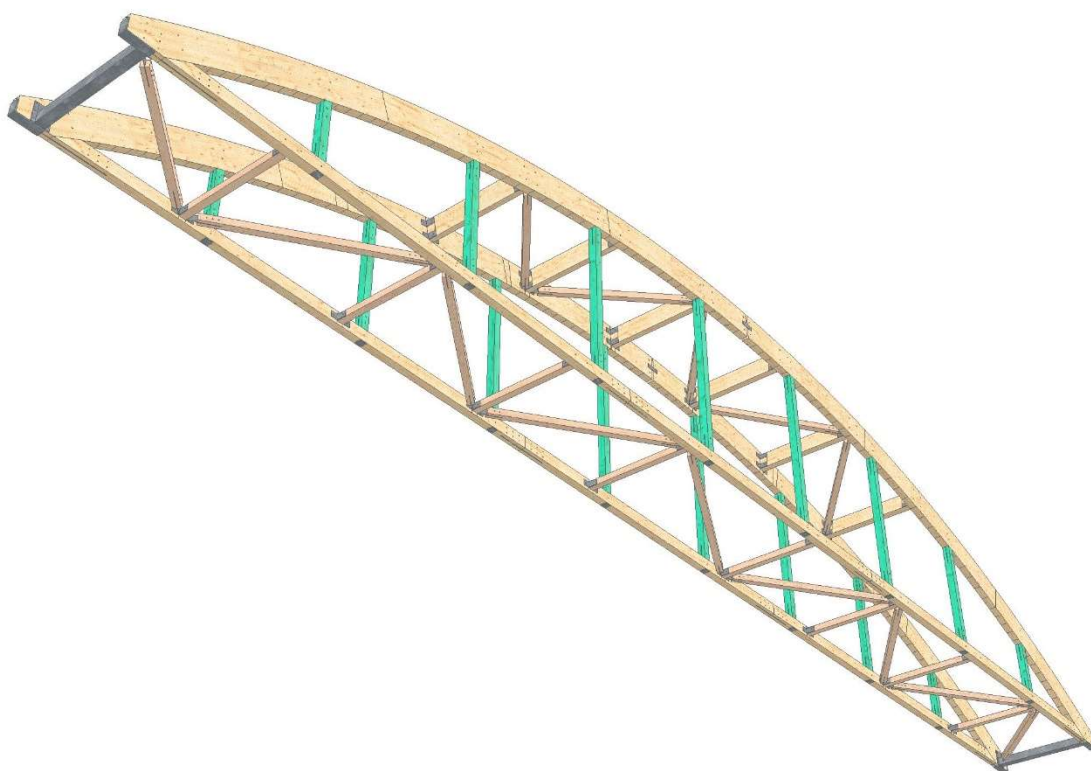
Podélné nosníky jsou nosná část mostovky a nesou celou pochozí vrstvu. Jsou navrženy z lepeného lamelového dřeva s pevnostní třídou GL28. Podélné nosníky půdorysně kopírují nosné oblouky konstrukce, jsou zavěšené z nosných oblouků lávky a jejich konce jsou zaříznuty se spodními hranami oblouků (Obrázek 34). Nosníky jsou od sebe vzdáleny 2,0 m. Každý z nich je ze 3 podélně napojených dílů. Rozměry podélných nosníků jsou 140 x 220 x 26 200 mm. Pro spojení s oblouky jak pro zavěšení, tak ve spodní části oblouků jsou využity spoje s vkládanými zinkovanými plechy, tzv žiletkami, v kombinaci s nerezovými svorníky. Výrobně budou podélné nosníky připraveny obdobně, jako části oblouků, a to vytvořením zádlabů pro ocelové plechy a navrtáním pro nerezové svorníky a pro osazení úhelníků navazujícího spodního zavětrování lávky.



Obrázek 34: Podélné nosníky (SEMA-autor DP, 2020)

7.7.3 Svislé pruty pro zavěšení mostovky

Svislé pruty pro zavěšení podélných nosníků mostovky jsou navrženy hranoly BSH v pevnostní třídě GL28 homogenního průřezu a v pohledové kvalitě Si. Byly navrženy předpokládané dimenze 140 x 140 mm s délkou závislou na půdorysném umístění pod oblouky, a to od 1,1 po 3,17 m (Obrázek 35). Půdorysně pruty kopírují půdorys oblouků a podélných nosníků se shodnou šířkou všech třech konstrukčních prvků - 140 mm. Tyto svislé pruty zajišťují přenos sil z namáhané mostovky a zábradlí do nosných oblouků a je tedy klíčové vytvořit dostatečně pevné spoje jak s podélnými nosníky, tak oblouky. Jako spoje byla tedy navržena varianta, která převládá v celé konstrukci lávky, a to je vytvoření zádlabu v obou spojovaných prvcích, vložení zároveň zinkovaného plechu, který je schopen dlouhodobě fungovat v třídě provozu 3, přičemž jak dřevěné prvky, tak ocelové plechy jsou předvrtány pro vložení nerezových svorníků.



Obrázek 35: Svislé pruty pro zavěšení mostovky (SEMA-autor DP, 2020)

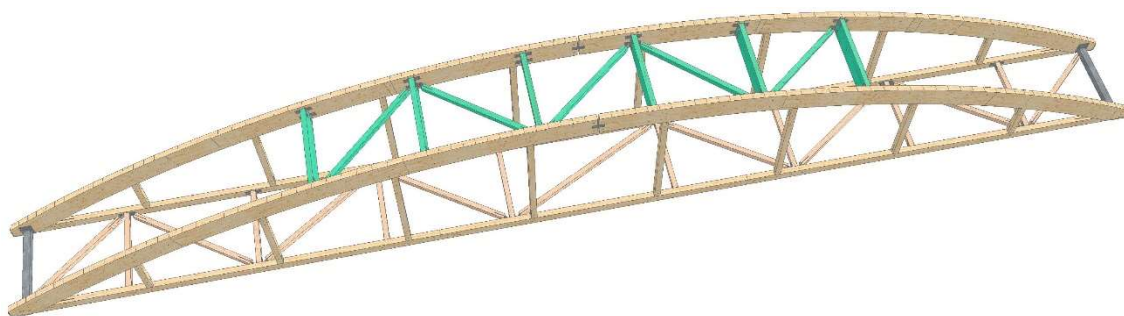
7.7.4 Horní a spodní konstrukce zavětrování

Konstrukce lávky má dvě oddělené ztužující konstrukce. Jedna z nich je zavětrování spodní části mezi podélnými nosníky, kde jsou ztužidla umístěna mezi jednotlivými příčnicí, které vymezují vzdálenost mezi podélnými nosníky (Obrázek 36). Horní ztužení je umístěno mezi oblouky do takové výšky, aby nijak neomezovalo minimální volnou výšku konstrukce. Ztužidla jsou zde umístěna mezi jednotlivé rozpěry oblouků (Obrázek 37).

Konstrukce obou ztužení je tvořena prvky ze sušeného a hoblovaného modřínového dřeva pro zaručení vysoké odolnosti vůči častým změnám vlhkosti. Výjimku tvoří pouze rozpěry oblouků, které jsou z lepeného lamelového dřeva. Dimenze ztužidel jsou 120 x 120 mm v různých délkách dle umístění. Vzhledem k sušení a hoblování materiálu před opracováním na CNC se při objednávce řeziva musí počítat s nutnými přírůstky na dimenze. Podélné nosníky a spodní ztužidla tvoří v podstatě příhradovou konstrukci. Pro spojení spodního ztužení s podélnými nosníky a horních ztužidel s nosnými oblouky jsou použity žárově zinkované ocelové plechy a úhelníky v kombinaci s nerezovými spojovacími prostředky.



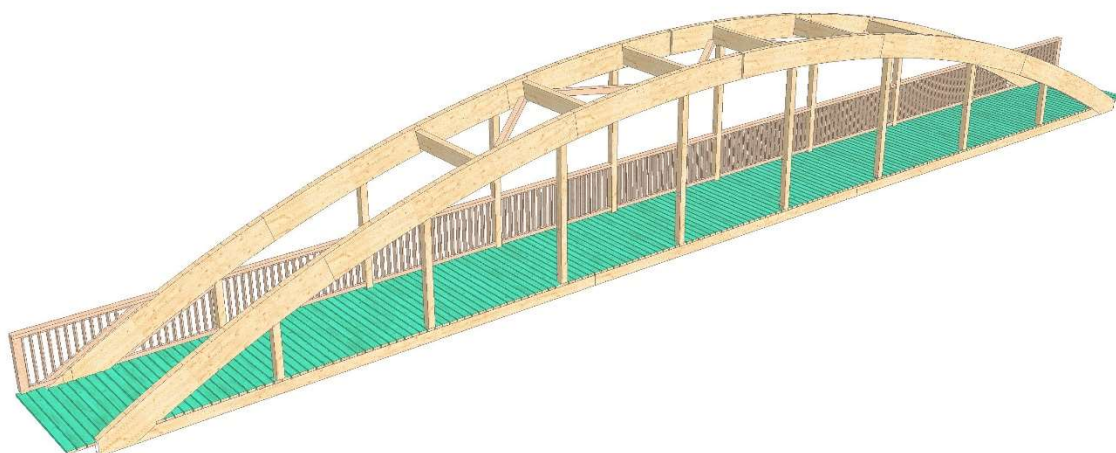
Obrázek 36: Spodní zavětrování mezi podélnými nosníky v úrovni mostovky (SEMA-autor DP, 2020)



Obrázek 37: Horní zavětrování mezi oblouky (SEMA-autor DP, 2020)

7.7.5 Horní vrstva mostovky

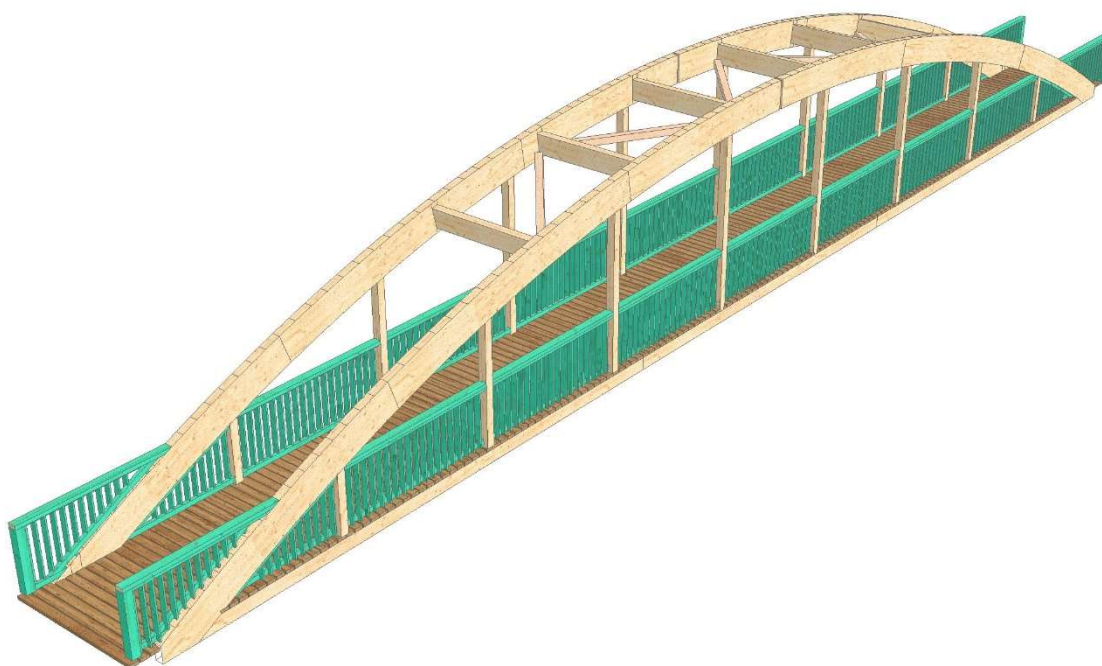
Pro konstrukce dřevěných lávek je vhodná a dostačující mostovka provedená způsobem s otevřenou drážkou. Mělo by na ni být použito kvalitní a odolné dřevo (Mettem, 2011). Pochozí vrstva mostovky je navržena ze sušených, hoblovaných a tlakově impregnovaných dubových fošen s drážkováním horní strany. Třída pevnosti dubu je D30, jednotlivé rozměry fošen po vysušení a ohoblování budou 146 x 50 x 2280 mm (Obrázek 38). V místech, kde do mostovky pronikají nosné oblouky budou fošny zakráčeny na kratší rozměr a od oblouku bude dodržena potřebná dilatace. Mezi horní hranou pochozí vrstvy a spodní hranou zábradlí zůstane mezera 50 mm, aby byla zabezpečena možnost tvarových změn bez deformací konstrukce. Dubové fošny budou na krajích lávky kotveny přímo do BSH nosníků mostovky. V ose mostovky bude v celé délce mostu přidána dubová lať pro třetí místo pro kotvení pochozí vrstvy, její horní hrana bude korespondovat s horní hranou BSH hranolů mostovky. Tato lať bude kotvena do modřínové konstrukce zavětrování. Na prvních a posledních několika metrech lávky a v místech napojení svislých prutů a podélných nosníků budou přidány další latě, jako náhrada za podélné BSH hranoly, jelikož horní hrana podélných nosníků je místy zabrána oblouky a svislými pruty (Obrázek 38). Každá fošna bude kotvena dvěma nerezovými vruty 8x140 mm do každého ze dvou krajních BSH hranolů mostovky a dvěma nerezovými vruty 8x80mm do DB latí. Všech šest děr na každé fošně bude předvrtáno vrtákem o průměru 6 mm pro zamezení praskání materiálů a efektivnější přitažení fošen. Pod každou fošnou se navíc v místě BSH hranolu mostovky umístí asfaltový pás o šíři 120 mm tak, aby nikde nepřesahoval. Spára mezi jednotlivými fošnami bude 20 mm.



Obrázek 38: Pochozí vrstva mostovky (SEMA-autor DP, 2020)

7.7.6 Konstrukce zábradlí

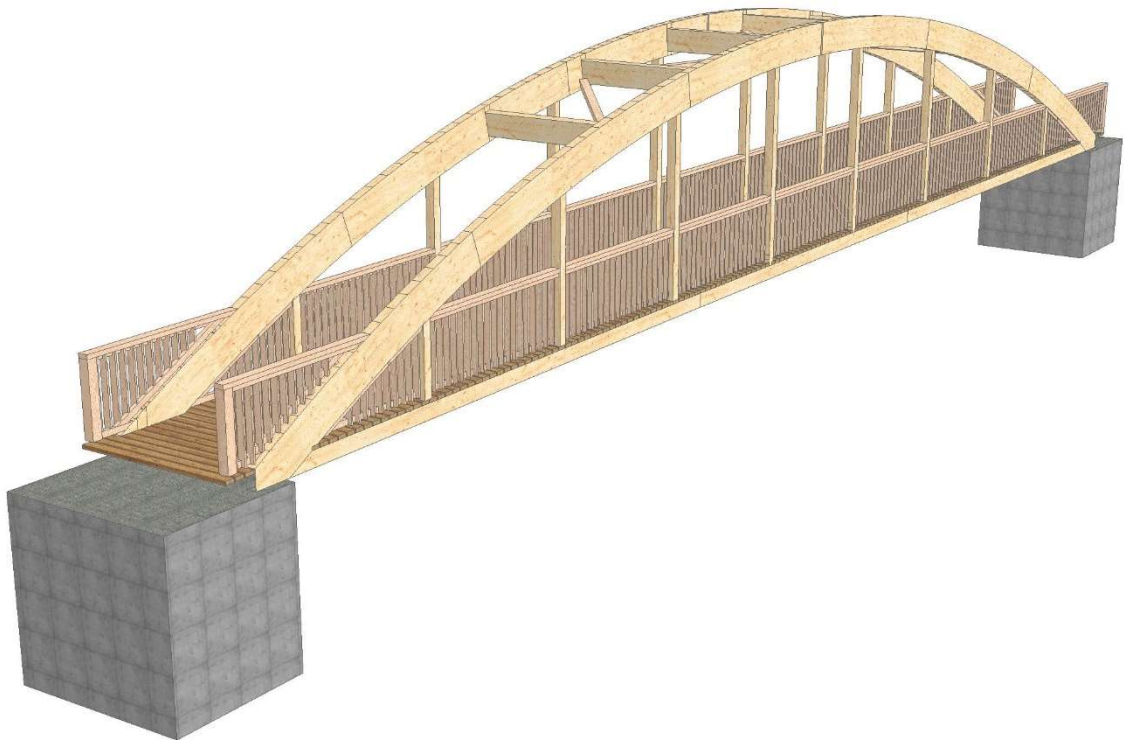
Konstrukce zábradlí je kompletně navržena ze sušeného hoblovaného modřínového dřeva. Celá konstrukce zábradlí je rozdělena na segmenty mezi jednotlivými svislými pruty (Obrázek 39). Mezi svislé pruty jsou v každém poli vsazeny dva podélné hranolky. Tyto hranolky budou ke svislým prutům kotveny ocelovými úhelníky a nerezovými vruty. Horní podélné hranolky mají dimenze 50 x 60 x 2860 mm a spodní 60 x 80 x 2860 mm. Na tyto hranolky budou následně kotveny svislé výplně zábradlí, opracované tak, aby zapadly do připravených hranolků. Tyto svislé pásnice jsou navrženy v dimenzích 25 x 100 x 990 mm a spodní hranou budou vzdáleny 50 mm od horní hrany pochozí vrstvy mostovky. V místě kolize zábradlí a nosných oblouků bude nutno přidat po jedné pásnici na horní a dolní stranu oblouku tak, aby byl zařezán se spodní hranou horního hranolku a horní hranou spodního hranolku, a to na všech 4 místech, kde oblouk vstupuje do zábradlí. Pro dilataci od oblouku zde tyto hranolky budou kotveny přes nařezané špalíky, aby vznikla provětrávaná mezera. Prvky zábradlí budou následně zařezány s tímto prvkem, aby nosné oblouky nebyly žádným způsobem narušeny. Po montáži spodní části zábradlí bude namontováno madlo zábradlí o rozměrech 140 x 60 mm, které je vyspádováno směrem ven z lávky. Celé zábradlí bude napojeno na konstrukci zábradlí stávajících ramp. Veškeré prvky zábradlí budou kotveny výhradně nerezovými vruty.



Obrázek 39: Konstrukce zábradlí (SEMA-autor DP, 2020)

7.7.7 Spodní stavba

Současná lávka má dvě krajní opěry (kotvení bloky, základy), které jsou kombinací železobetonu a ocelových trubek pro uložení současné ocelové mostovky. Před montáží samotné dřevěné lávky dojde k likvidaci horních ocelových částí opěr a k přetvoření na kompletně železobetonové bloky (Obrázek 40), které budou následně opatřeny asfaltovým nátěrem a připraveny pro uložení dřevěné lávky.



Obrázek 40: 3D náhled na uložení lávky na železobetonové opěry (SEMA-autor DP, 2020)

7.7.8 Spojovací prostředky

Vytváření mimostředných přípojí vedou k přídavným namáháním konstrukčních prvků v oblasti spojů. K minimalizování těchto namáhání je nutno dbát na dostředné vytváření přípojí (Blass, 2008). Při osazování spojovacích prostředků je nutné je umístit do bočních ploch, nikoliv do čelních, jelikož pevnost dřeva rovnoběžně s vlákny je v porovnání s pevnostmi ve zbylých směrech velmi nízká. Při navrhování konstrukcí, které budou vystaveny povětrnostním vlivům a v prostředí s častými a vysokými výkyvy vlhkostí je potřeba věnovat zvláštní pozornost ocelovým spojovacím materiálům. Tyto materiály musí být opatřeny určitou formou antikorozi ochrany. Jako antikorozi ochranu lze použít žárové zinkování prvků, případně další ochranné vrstvy. U drobnějších spojovacích materiálů a ve velmi agresivním prostředí je vhodné použít prostředky z nerezavějící oceli.

V konstrukci lávky je navrženo vícero typů mechanických spojovacích prostředků s vícero typy povrchových úprav a materiálů. Ve shrnutí se jedná vypalované, předvrtané a žárově zinkované ocelové plechy třídy S 355 J2G3, zinkované úhelníky, nerezové úhelníky, nerezové svorníky, závitové tyče, velkoplošné podložky, matky a variace nerezových vrutů (Obrázek 41). Detailní popis rozměrů a rozmístění konkrétních spojovacích prostředků se nachází v příloze: Montážní dokumentace lávky z lepeného lamelového dřeva.

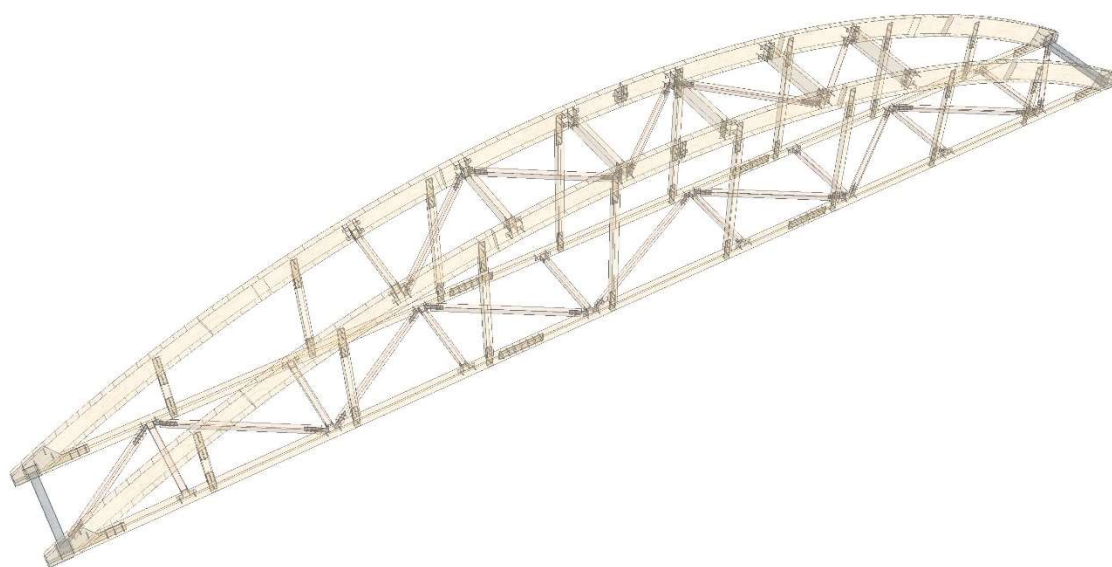
Pro spojení hlavních částí konstrukce, a to oblouků, spodních podélných nosníků a svislých prutů je použita kombinace vkládaných zinkovaných plechů do osy dřevěných prvků s nerezovými závitovými tyčemi o průměru 16 mm, které jsou oboustranně doplněny nerezovou velkoplošnou podložkou a kloboukovou matkou. U návrhu délky závitových tyčí a svorníků v daném spoji je třeba věnovat zvláštní pozornost tloušťce podložky a možnosti kloboukové matky, kolik závitové tyče dokáže pojmout, abychom právě kloboukové matky při montáži nepoškodili.

Na přípoje dolního a horního zavětrování konstrukce jsou rovněž použity vkládané plechy v kombinaci s nerezovými svorníky. Dále jsou zde použity pozinkované a nerezové úhelníky, s navařeným plechem pod úhlem patřičné diagonály. Otvory pro veškeré závitové tyče a svorníky jsou navrženy vždy o 2 mm širší pro bezproblémovou montáž a rezervu vrstvu žárového zinkování, které část navrtaného prostoru odebere.

Pro kotvení dubové pochozí vrstvy mostovky a dubových latí, jako části jejich podkladku pod pochozí vrstvou, bude použita variace nerezových vrtů. Pro kotvení latí jsou navrženy vruty 8 x 120 mm a pro kotvení samotných fošen pro pochozí vrstvu vruty 8 x 80 do DB latí a 8 x 140 mm do BSH podélných nosníků. Každá fošna mostovky bude přikotvena 6 kusy vrtů. Po dvojicích na začátku, uprostřed a na konci. U přípojů tohoto typu platí pravidlo, že závit vrutu musí být celý v materiálu. Veškeré fošny budou předem předvrtány vrtákem o průměru 6 mm, abychom zamezili praskání materiálu a usnadnili samotné kotvení fošen.

Pro montáž zábradlí bude použita kombinace pozinkovaných úhelníků a nerezových vrtů. Pro kotvení nosných prvků zábradlí, dvou podélných hranolků, ke svislým prutům lávky budou použity pozinkované úhelníky 60 x 60 x 60 mm v kombinaci s vruty 5 x 40 mm. Následně bude na tyto hranolky kotvena výplň zábradlí vruty 6 x 100 do dolního hranolku a vruty 6 x 80 do hranolku horního. Madlo bude následně kotveno vrutem 6 x 100 zespodu přes horní hranolek, aby napojení nebylo vidět a madlo bylo z horní strany nenarušeno.

Patky oblouků jsou na obou stranách usazeny do ocelových pozinkovaných svařenců, které bude na obou stranách uloženy na betonových opěrách s ložisky, která lze použít ve 3. třídě provozu.



Obrázek 41: Náhled na 3D model se spojovacími prostředky (SEMA-autor DP, 2020)

7.8 Ochrana dřeva

Dřevo a materiály na bázi dřeva spojuje jedna nevýhoda, a to nízká odolnost vůči abiotickým a biotickým činitelům. Proto je potřeba ochraně dřeva věnovat zvláštní pozornost a volbou správné ochrany prodloužit jeho životnost, a tím i životnost celé konstrukce. U konstrukcí v exteriéru, a zejména konstrukcím v agresivním prostředí, platí tato pravidla obzvláště. Mezi nejvýznamnější abiotické činitele ovlivňující vlastnosti dřeva patří zejména voda ve formě deště, sněhu a ledu, teplota, vítr, sluneční a UV záření. Vlivem poškození těmito činiteli se mohou negativně měnit chemické a fyzikální vlastnosti dřeva, dochází k barevným změnám a tvorbě trhlin ve dřevě (Straka, 1996).

Vzhledem k tomu, že konstrukce lávek přes říční toky jsou vystaveny vysokým vlhkostem, povětrnostním vlivům a slunečnímu záření, bylo pro všechny konstrukční prvky, které nejsou z lepeného lamelového dřeva, navrženo použití druhů dřevin s vyšší přirozenou odolností, jako modřín a dub. Trvanlivost a odolnost dřevin lze definovat jako odolnost vůči chemickým, fyzikálním a biologickým činitelům (Marynowicz, 2008). Trvanlivost dřeviny se odvíjí od druhu, hustoty dřeviny, ale i na výskytu biologických činitelů. Trvanlivost dřeva se pohybuje od pár let až po několik tisíc let. Z hlediska přirozené trvanlivosti dělíme dřeviny na tři základní skupiny, a to na:

- trvanlivé: dub, modřín, douglaska, akát,
- středně trvanlivé: jasan, jilm, borovice, smrk
- relativně málo trvanlivé: buk, jedle, javor, bříza, lípa, topol.

Dle norem ČSN EN 335-1 a ČSN EN 335-2 má dubové dřevo předpokládanou trvanlivost ve čtvrté třídě ohrožení 15-25 let, modřín potom 10-15 let. Pro dřevěné prvky v exteriéru, které jsou vystaveny povětrnostním vlivům, se obecně doporučuje volba dřevin s vyšší trvanlivostí. Při tvorbě konstrukčního návrhu je po volbě vhodné dřeviny potřeba chránit dřevo samotným způsobem vyhotovení konstrukce, tzv. konstrukční ochranou dřeva. Jako příklady konstrukční ochrany lze uvést například zastřešení konstrukce, oplechování částí konstrukce, volba přesahů konstrukce, ochrana nosných prvků apod. Druhým používaným způsobem ochrany je ochrana chemická. Dle Bella (2008) mohou chemické prostředky výrazně prodloužit životnosti konstrukce. Vysokou účinnost má u tohoto typu konstrukce především impregnace dřevěných prvků. Předpokladem pro dlouhou životnost konstrukce jsou pravidelné prohlídky konstrukce a v případě potřeby neprodlené opravy či výměny poškozených prvků konstrukce.

7.8.1 Konstrukční ochrana lávky

Konstrukční ochrana dřeva zahrnuje technická a konstrukční opatření, která ochraňují dřevo před povětrnostními vlivy a zvyšování vlhkosti ve stavbě (Ptáček, 2009). Při konstrukčním návrhu je zapotřebí co nejvíce zamezit působení vlhkosti na dřevěnou konstrukci. Je nutné zamezit usazování a setrvání vody a nečistot v konstrukčních spojích. Veškeré části konstrukce by měly být dostatečně odvětrány (Koželouh, 2004; Mettem, 2011). Voda v kapalném skupenství je schopna pronikat do dřeva především ve směru vláken. Takové poškození často vede ke změnám vzhledu, tepelných vlastností, pevností atd. Proto je vhodné, se při konstrukčním návrhu vyhnout vystavení čelních ploch přímému působení vody, a to vhodným uspořádáním konstrukčních prvků. Následně, pokud konstrukční ochrana v daném případě již není proveditelná, přistoupíme k ochraně chemické (Kuklík, 2005; Ptáček 2009).

Lávka je díky volbě materiálů a uspořádání konstrukčních prvků navržena s relativně vysokou přirozenou odolností. I tak je ale nutné zabezpečit co nejvyšší možnou ochranu hlavních nosných prvků před povětrnostními vlivy a trvalým zvyšováním vlhkosti. V návrhu jsou brány v potaz zásady správné konstrukční ochrany dřeva.

Prvním krokem bylo předejití kontaktu konstrukce dřeva s vodní hladinou, zemínou a železobetonovými podporami. Na základě návrhu výšky mostovky dle staleté vody lávka s vodní hladinou do styku nepřichází. Se zemínou, ani železobetonovými podporami dřevo do styku nepřichází, a to díky uložení patek nosných oblouků do dvou masivních žárově zinkovaných svařenců z kombinace plechů o tloušťkách 20 a 10 mm. Další aplikované způsoby konstrukční ochrany byly následující:

- Návrh seříznutí horní strany madla zábradlí směrem z lávky ven pro zamezení setrvání vody a pro její jednoduchý odtok.
- Ochrana prvků pod pochozí vrstvou mostovky (dubové fošny tvoří částečnou ochranu pro prvky pod nimi)
- Umístění asfaltových pásů pod jednotlivé dubové fošny mostovky pro zamezení přímému kontaktu dvou dřevěných prvků.
- Mezery mezi konstrukčními prvky pro zajištění proudění vzduchu a odvětrání.
- Oplechování horních stran nosných oblouků titan-zinkovými plechy.
- Detaily řešené tak, aby se co nejméně shromažďovala voda ve spojích.

7.8.2 Chemická ochrana lávky

K chemické ochraně dřeva většinou přistupujeme v případě, že konstrukční ochrana je nedostatečná nebo chceme docílit co nejvyšší životnosti dřeva v konstrukci a zvolíme kombinaci konstrukční a chemické ochrany. Daná konstrukce se posoudí dle tabulky vycházející z normy ČSN EN 335-1 a ČSN EN 335-2, která rozděluje rizika ohrožená dřeva a dřevěných konstrukcí biotickými škůdci do několika tříd (Tabulka 3).

třída ohrožení	prostředí	výskyt biotických činitelů	příklady
1	nad zemí, kryté (suché)	brouci, termiti	interiér, dřevěné rámy kryté střechou a obklady
2	nad zemí, kryté	brouci, termiti	otevřená garážová stání, okenní rámy, kryté mosty
3	nad zemí, nekryté (riziko častého zvlhnutí)	Houby, brouci, termiti	mostní nosníky a mostovka, stříšky
4	v kontaktu s půdou nebo sladkou vodou (trvale)	Houby, brouci, termiti, bakterie	ploty, sloupky, štetové stěny
5	ve slané vodě (trvale)	houby, brouci, termiti	pilíře, vlnolamy, mořské ochranné stěny

Tabulka 3: Třídy ohrožení a výskyt biotických činitelů podle EN 335-1 (Marynowicz, 2008)

Dle tabulky výše spadá lávka, jakožto nekrytá mostní konstrukce do 3. místy třídy ohrožení. Charakteristickými jevy pro tuto třídu jsou vlhkosti vyšší než 20 % a časté působení povětrnosti. V našem prostředí se doporučuje ochrana proti dřevokaznému hmyzu, dřevokazným houbám a plísním prostředky s účinností FB, B, P, IP, n.

- FB – účinnost proti houbám třídy Basidiomycetes (např. dřevomorka domácí)
- B – účinnost proti houbám způsobujícím modráni
- P – účinnost proti plísním
- IP – účinnost proti dřevokaznému hmyzu preventivní
- n – látka ze dřeva nevyluhovatelá vodou (Straka, 1996).

Zvolenou formou chemické ochrany pro pochozí vrstvu mostovky je tlaková impregnace Wolmanit CX. Jedná se o tekutou impregnační látku na bázi anorganických sloučenin mědi a boru. Po rychlé fixaci ve dřevě je tato látka odolná vůči vylouhování. Impregnační látka Wolmanit CX je navzdory své účinnosti zdravotně nezávadná a šetrná k životnímu prostředí (Palis 2020). Pro povrchovou úpravu pochozí vrstvy, impregnaci a

povrchovou úpravu všech zbylých dřevěných prvků lávky byla zvolena kombinace ochranných prostředků a povrchové úpravy od firmy Adler. Jako impregnační prostředek byl zvolen ADLER Pullex Imprägnier Grund. Jedná se o bezbarvou viskózní kapalinu a preventivní ochranu proti houbám, hmyzu a plísním. Parametry impregnační látky odpovídají požadavkům pro použití na konstrukce v třídě ohrožení 3 (Adler, 2020). Na doporučení výrobce bude do bezbarvé impregnace přidáno 10 % produktu ADLER Pullex Top Lasur, který bude později použit pro vrchní nátěry, pro zvýšení celkové odolnosti konstrukce proti UV záření a dosáhneme tím vzhledu dřeva se zvýrazněnou strukturou. Na veškeré dřevěné prvky bude impregnace aplikována natíráním, a to v jedné vrstvě. V případě impregnace lepeného lamelového dřeva se nedoporučuje impregnace tlaková, a to z důvodu rozdílných vlhkostí používaných u lepení (cca 12 %) a u impregnace (cca 20 %). V dalších vrstvách bude nanášena již samotná tenkovrstvá lazura, která je doporučena pro kombinaci právě s použitou impregnací. Jedná se o již zmíněnou ADLER Pullex Top Lasur. Na základní nátěr impregnační vrstvy bude následně přidána 1x mezivrstva a 1x krycí povrchová vrstva Pullex Top Lasur, a to s dobami schnutí mezi jednotlivými nátěry minimálně 12 h. Složení a kombinace použité impregnace a finální povrchové úpravy umožní ochranu proti plísním, zamodráním, hnilobě, řasám, UV záření a vlhkosti. Zároveň reguluje vlhkost, zabraňuje trhání dřeva a odpuzuje vodu (Adler, 2020).

7.8.3 Požární ochrana lávky

Jednou z přirozených nevýhod dřeva a některých materiálů na jeho bázi je jejich hořlavost. I když je možné hořlavost snížit vhodnými impregnačními nátěry nebo povrchovou úpravou, nikdy nedosáhneme úplné nehořlavosti těchto materiálů. Samotné rostlé dřevo je obtížně zápalné a plamen se šíří nízkou rychlostí, v třídách reakcí stavebních materiálů na oheň (A1, A2 – nehořlavé; B, C, D, E, F – hořlavé, kdy B jsou těžko zápalné materiály a F extrémně hořlavé materiály) spadá neošetřené konstrukční dřevo do kategorie D. Rychlost hoření se závisí na hustotě dřeva, vlhkosti, úpravě povrchu, rozměrech apod. Při hoření dřeva dochází k postupnému zuhelnování dřeva, respektive jeho povrchové vrstvy. Ta dále brání prostupu kyslíku do celého průřezu a tím izoluje zbytek nepoškozeného dřeva před hořením. Rychlost odhořívání se tedy vlivem zuhelnatělé vrstvy obecně špatné tepelné vodivosti dřeva výrazně zpomaluje. Díky tomu

nevznikají poruchy následkem nadměrného tepelného roztažení a nedochází k náhlému zřícení jako v případě ocelových konstrukcí. Ve zbytku průřezu tak nedochází ke změně fyzikálních vlastností. V celkovém průřezu dochází pouze k úbytku pevnosti, a to následkem jeho redukce.

V zásadě existují dva způsoby chemické ochrany dřeva a dřevěných konstrukcí před požárem. Jedná se o nátěry, takzvané anti-pyreny, které zpomalují hoření samotné, a to svou přeměnou v mikroporézní pěny a impregnační roztoky, které se teplem rozkládají v nehořlavé plyny a zrychlují proces zuhelnatění dřeva (Hájek, 1997; Kuklík, 2008 b).

Požární ochrana konstrukce lávky nebyla řešena žádnou dodatečnou ochranou ve formě nátěru, ani konstrukčního opatření. Dostatečná požární odolnost je zajištěna hodnotami požární odolnosti samotných prvků konstrukce. Veškeré hlavní nosné prvky konstrukce jsou navrženy z lepeného lamelového dřeva, které se vyznačuje dobrými protipožárními vlastnostmi. Ocelové spoje jsou, jako ve většině kombinací dřeva a oceli, nejslabším místem konstrukce z hlediska protipožární ochrany. I tak se ale v případě lávky přes říční tok dají považovat za dostačující. Lepidla pro konstrukční účely by měla zaručit, že spoj bude mít takovou pevnost a trvanlivost, aby po dobu požární odolnosti byla zaručena jeho celistvost (ČSN EN 1995-1-2, 2006).

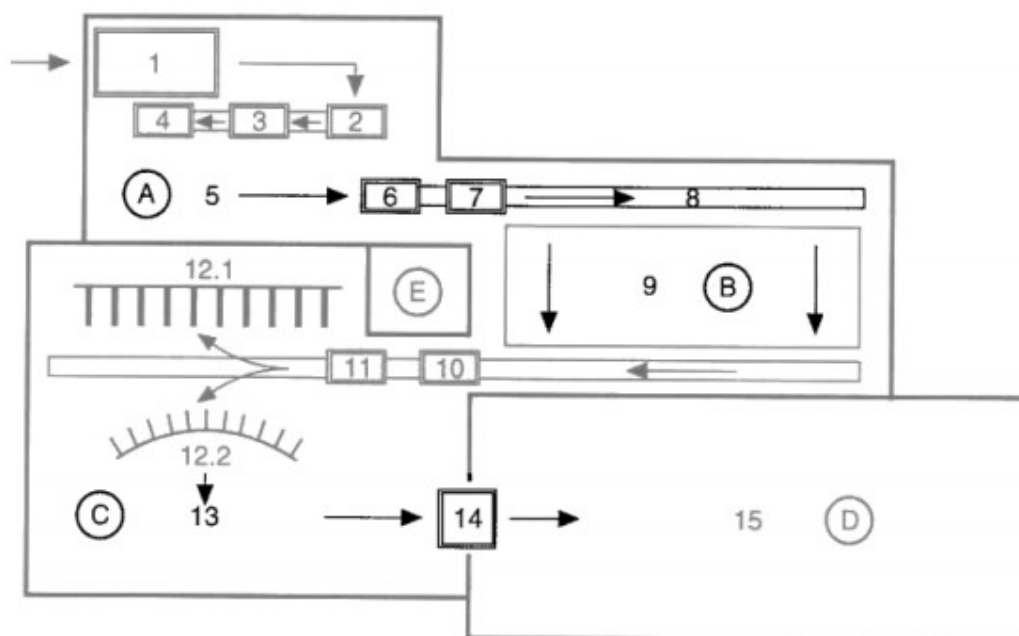
8 Výroba Lávky

Od dob prvních lávek z padlých klád vytvářených jejich svazováním přírodními provazci uplynulo mnoho let a postupy navrhování konstrukcí a jejich výroby se vyvinuly téměř k dokonalosti. V porovnání s minulostí dnešní doba nabízí využití moderních programů pro navrhování a modelování konstrukcí a CNC zařízení téměř ve všech oborech zpracování dřeva a jiných materiálů, v případě výroby navrhované konstrukce lávky bude použito CNC tesařské obráběcí centrum Hundegger K2i rozšířeno o plně automatickou čtyřstrannou hoblovku Hundegger Hobelmaschine HM-3. CNC technologie nejen že zrychlují výrobu samotnou, ale za předpokladu správné přípravy vstupů pro CNC zařízení a zabezpečení kvalitní výstupní kontroly výrazně zvyšuje přesnost a kvalitu výrobků. Nahrazení lidského faktoru strojem minimalizuje chybovost a otevírá možnosti pro vícesměnné provozování při relativně nízkých personálních kapacitách.

Výhodou dřevěných konstrukcí obecně je zpravidla vysoká možnost prefabrikace a oproti betonovým konstrukcím nejsou závislé na mokřích procesech. V následujících podkapitolách jsou popsány technologické procesy výroby jednotlivých konstrukčních prvků lávky s návazností na následnou montáž.

8.1 Výroba prvků lávky z lepeného lamelového dřeva

Na základě konstrukčního návrhu se lávka skládá z kombinace lepeného lamelového dřeva na nosné oblouky, podélná táhla mostovky a svislé pruty, sušeného a hoblovaného modřínového dřeva na horní a dolní konstrukci ztužení a konstrukci zábradlí a ze sušeného, hoblovaného dubového dřeva pro pochozí vrstvu mostovky a část jejího podkladu. Výroba ohýbaných BSH hranolů probíhá u většiny Českých dřevozpracujících firem externě, a to u zahraničních firem většinou z Rakouska či Německa, jelikož málo která běžná firma má k dispozici technologii nutnou pro výrobu ohýbaného lepeného lamelového dřeva, kde je velmi často potřeba velkých rozměrů, a tudíž mnohem nákladnější výrobní technologie. Dle Koželouha (2004) lze pracovní postup výroby lepeného lamelového dřeva jak přímého, tak ohýbaného rozdělit na pět základních úseků (Obrázek 42).



Obrázek 42: Schéma pracovního postupu výroby lepeného lamelového dřeva (Koželouh, 2004)

A) Příprava řeziva

Lepené lamelové dřevo je vyráběno vrstvením lamel o tloušťce zpravidla 40 mm. Jejich výroba začíná příchodem řeziva ze skladu ve venkovním prostředí do sušáren, kde je uměle vysoušeno (1). Sušení je nutné z důvodu, že lepidla vyžadují vlhkost dřeva maximálně 15 %. Po vysoušení následuje předběžné frézování (2) a třídění materiálu (3). Je kontrolována vlhkost materiálu, následně je materiál zakapován (4) a uložen do hrání (5).

B) Vytváření nekonečného prvku pomocí cinkového spoje

Přířezy se následně podélně napojují zubovitým neboli cinkovým spojem a tím vytváří takzvanou nekonečnou lamelu. Zubovitý profil se vyfrézuje v čele přířezu a nanese se lepidlo (6). Následně se přířezy lisují po dobu nejméně dvou sekund (7), jsou tedy třením působícím mezi ozuby fixovány a drženy pohromadě. Výsledné nekonečné lamely se krátí na lamely požadované délky (8) a jsou ukládány do hrání (9). Doba tohoto meziskladování musí být zvolena tak, aby bylo zaručeno dostatečné vytvrzení lepidla před dalším zpracováním lamel.

C) Lepení

Lamely jsou frézovány na jejich finální rozměry (10) a je na ně nanášeno lepidlo (11). Následně jsou uloženy na jejich užší stranu, na stojato vedle sebe a jsou lisovány do jednoho profilu. Dle typu umožňují lisovací přípravky výrobu jak přímých (12.1), tak zakřivených (12.2) lepených nosníků. Po lisování, zpravidla do příštího dne, se nosníky skladují až do jejich konečné úpravy (13)

D) Konečná úprava

Slepené a zalisované nosníky se z bočních stran frézují (14) pro odstranění zbytků lepidla a dosažení dokonale rovných bočních stran. Po bočním frézování následuje konečná úprava nosníků (15). Ta zahrnuje veškerá předběžná přípravná opatření jako vrtání otvorů, aplikace ochranných látek nebo vydlabání otvorů pro vkládané plechy. Tyto úkony se zpravidla provádí před odesláním zákazníkovi z důvodu, že na to například nemá potřebnou technologii nebo výrobní kapacity a objednal tedy lepené prvky včetně opracování.

E) Příprava lepidel

Není-li lepidlo před lisováním nanášeno přímo ze skladovacích nádrží a nejsou-li automaticky míchány při nanášení, je nutné mít k dispozici samostatný prostor pro přípravu lepidel. Mimo to je nutností mít prostory pro skladování lepidel, čistících prostředků a nástrojů.

Po výrobě lepených oblouků, podélných nosníků a svislých prutů z lepeného lamelového dřeva budou převezeny do dřevozpracujícího závodu v Čechách, kde proběhne povrchová úprava hotových prvků z BSH a opracování a povrchová úprava všech zbylých dřevěných prvků konstrukce.

8.2 Výroba prvků lávky z dubového a modřínového dřeva

Po výrobě lepených oblouků a dodávce všech BSH prvků od zahraničního dodavatele může zbytek výroby a montáže proběhnout v režii jedné firmy s dnes již standardní soustavou technologií pro zpracování dřeva a výrobu tesařských konstrukcí. Níže je popsáno několik klíčových kroků pro výrobu lávky od dodávky řeziva z pily po zahájení montáže.

A) Specifikace a dodání řeziva

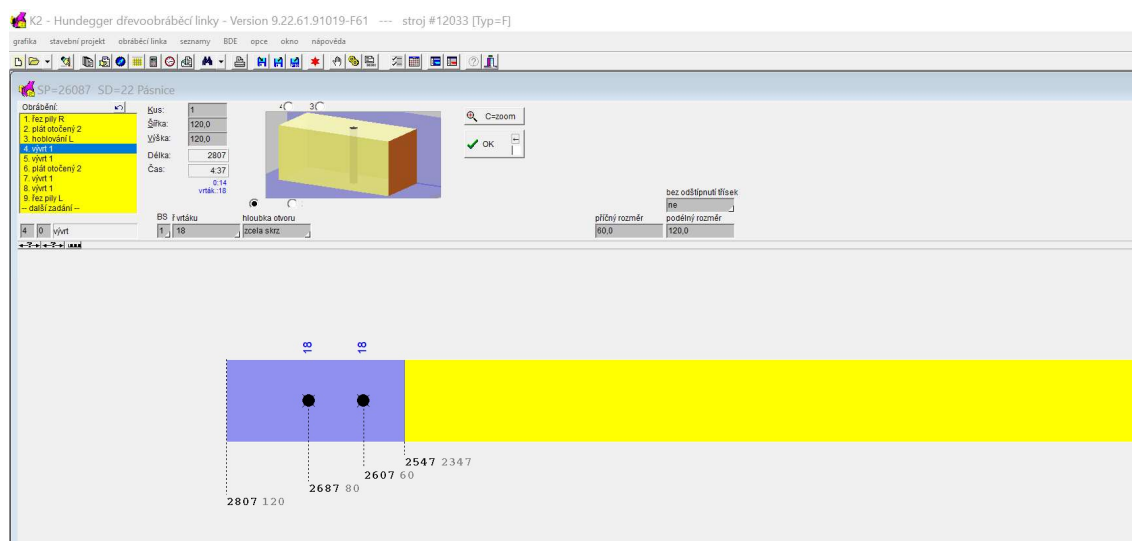
Syrové dubové a modřínové řezivo bude objednáno z místní pily s požadavkem na pohledovou kvalitu, mimostředové řezivo a pevnostní třídy C24 pro modřín a D30 pro dub. V programu SEMA je lávka nakreslena s připravenými výstupy pro CNC ve skutečných finálních rozměrech pro stroj. To znamená, že před vstupem do CNC musí být veškeré hranoly vysušeny a následně ohoblovány na přesné rozměry dle výpisu z modelu. Proto je nutné počítat s přídávky, které jsou pro podobné postupy výroby zpravidla 5 % na průměrné seschnutí v sušárnách a 5 mm na šířku i výšku průřezu na hoblování. Finální rozměry syrového dřeva pro pilu by měly být za okrouhleny na 20 mm, jelikož většina pil dodává hranoly odstupňované po 20 mm šířky. Například tedy prvky spodního a horního zavětrování, které mají mít finální dimenze 120 x 120 mm, budou objednány v dimenzích 140 x 140 mm. ($120 \text{ mm} \times 1,05 + 5 \text{ mm} = 131 \text{ mm} \doteq 140 \text{ mm}$).

B) Sušení na požadovanou vlhkost

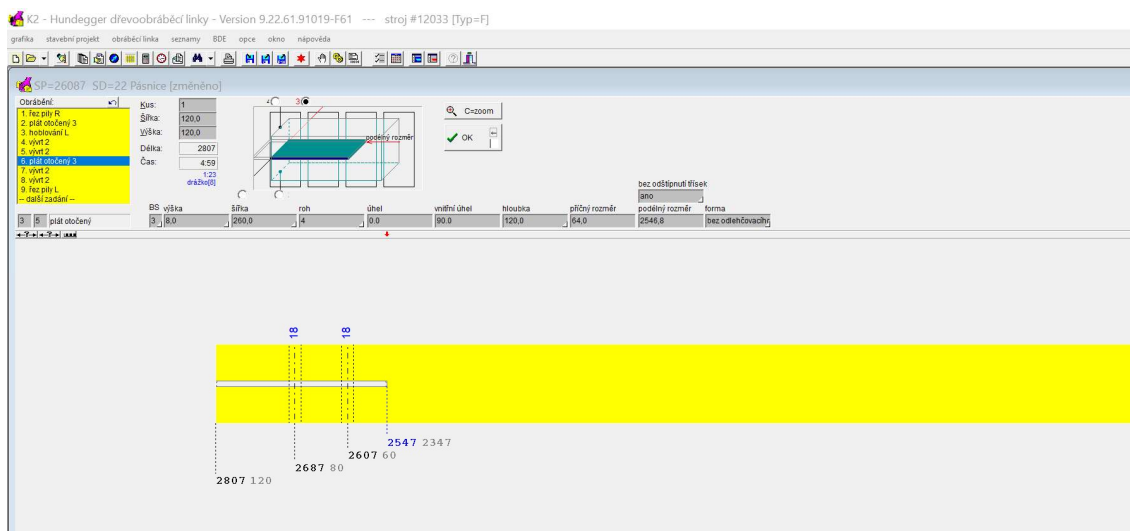
Řezivo z pily bude následně vysušeno buď přirozeně na tzv. vzduchosuché řezivo o vlhkosti 15-20 %, a to dostatečně dlouhým skladováním v krytých a dobře provětrávaných hráních, nebo bude vysušeno uměle v sušárnách na požadovanou vlhkost po dobu 2-4 týdnů. Pro konstrukce v exteriéru je optimální vlhkost právě kolem 15-20 %. Pomocí sušáren jsme ovšem schopni ji dosáhnout v řádech týdnů, zatímco při přirozeném sušení se doba prodlužuje na měsíce až roky.

C) Hoblování na požadované rozměry, opracování na CNC

Po vysušení jsou hranoly přemístěny k tesařskému obráběcímu centru CNC Hundegger K2i, jehož součástí je čtyřstranná hoblovka HM-3. Jak CNC K2i, tak hoblovka HM-3 jsou schopny opracovat prvky od průřezů 15 x 30 mm po 300 x 625 mm. Veškeré prvky jsou čtyřstranně ohoblovány na požadované finální rozměry a následně putují do samotného CNC. Dle výstupních projektů na CNC z programu SEMA stroj vyhodnotil dobu obrábění dubových fošen a latí na 3 hodiny, kompletní konstrukci zábradlí na 12,5 hodin a obě konstrukce zavětrování cca 30 minut. Celkový strojový čas je tedy 16 hodin. Při započítání rezervy pro manipulaci, tzn. cca 30 % času navíc, jsme na celkové době výroby kolem 21 hodin. Po opracování bude provedeno potřebné zabroušení nedokonalostí a vydlabání zbylých dlabů pro vkládané plechy. U vrtání a dlabání otvorů pro ocelové spojovací prostředky je nutno počítat s určitou vůlí a jak vrtané otvory, tak zádlaby pro ocelové plechy je vhodné vyhotovit o 2 mm širší pro bezproblémovou montáž.



Obrázek 43: Prostředí programu Hundegger při výrobě na CNC K2i -1 (Hundegger-Autor DP, 2020)



Obrázek 44: Prostředí programu Hundegger při výrobě na CNC K2i -2 (Hundegger-Autor DP, 2020)

D) Vyfrézování drážek do fošen pochozí vrstvy mostovky

Přesně zakapované fošny mostovky budou následně opracovány na čtyřstranně hoblovec s osazenými noži pro vytvoření drážkovaného povrchu horní strany hranolu.

D) Tlaková impregnace

Kompletně opracované fošny mostovky budou umístěny do tlakovací nádrže. Použita bude impregnační látka Wolmanit CX aplikována do dřeva pod tlakem 0,85-1,65 baru.

E) Povrchová úprava

Po zaschnutí tlakové impregnace fošen mostovky budou veškeré dřevěné prvky opatřeny základním nátěrem ADLER Pullex Imprägnier. Po dostatečném zaschnutí impregnace bude ve dvou vrstvách s minimálně dvanáctihodinovým odstupem aplikována střední a finální vrstva ADLER Pullex Top Lasur.

8.3 Výroba ocelových spojů

Výroba ocelových spojů proběhne laserovým vypalováním u externí firmy. Použit bude plně automatizovaný 2D Laser TRUMPF Full Automatic TruLaser L5030. Plechy budou vypáleny z nelegované konstrukční oceli třídy S355 J2G3, a to v tloušťkách od 6 mm (plechy pro svislé pruty, úhelníky apod.) po 10-12 mm pro ocelové usazovací patky oblouků. Vyřezané plechy s otvory pro svorníky budou následně žárově zinkovány. Otvory pro svorníky průměru 16 mm budou pro bezproblémovou montáž svorníků vypáleny v průměru 18 mm, a to z důvodu mírného úbytku prostoru vlivem zinkování.

9 Montáž Lávky

Mezi největší výhody dřevěných konstrukcí obecně je zpravidla jejich vysoká možnost prefabrikace, nízká hmotnost a s tím související relativně rychlá a jednoduchá montáž. Jednotlivé segmenty lávky lze smontovat přímo na stavbě, a právě díky nízké hmotnosti lze pomocí mobilních jeřábů osadit na podpory (Bell, 2008).

9.1 Přípravné práce

Během výroby dřevěných a ocelových prvků lávky dojde k demontáži a likvidaci ocelové lávky a úpravě železobetonových opěr. Na každé straně lávky dojde k demontáži krajů přístupových ramp pro usnadnění montáže nové lávky. Součástí přípravných prací bude rovněž možnost zpevnění terénu před přístupovými rampami.

9.2 Montážní postup lávky

K přepravě připravených dílců lávky a spojovacích prostředků bude použit standardní nákladní automobil s návěsem o úložném prostoru 2,45 x 12,9 m. Vzhledem k tomu, že nejdelšími prvky konstrukce jsou 4 části nosných oblouků, které při uložení na nákladní návěs potřebují na délku prostor 14,25 m, přičemž maximální délka celé soupravy musí být do 16,5m a šířka do 2,55 m, bude nutné zažádat o možnost nadměrné přepravy zvláště těžkých nebo rozměrných předmětů a užívání vozidel, jejichž rozměry nebo hmotnost přesahují míry stanovené vyhláškou Ministerstva dopravy, a to na základě § 25 zákona č. 13/1997 Sb. (Ministerstvo dopravy České republiky 2018). Samotná montáž bude probíhat v pěti hlavních etapách, dle montážní dokumentace, viz příloha 1 a podkapitoly níže.

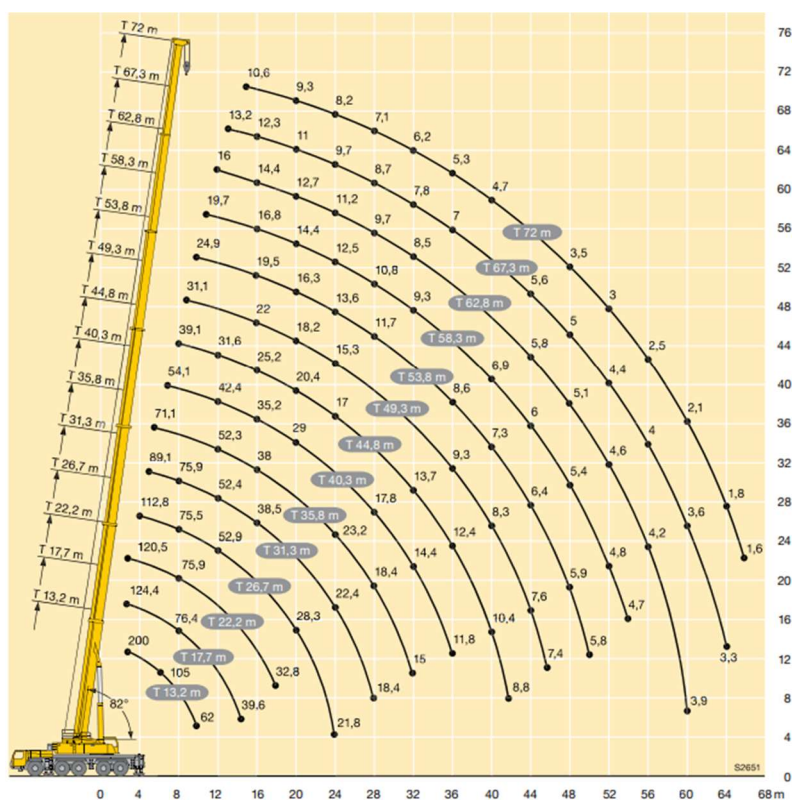
9.2.1 Stavba nosné konstrukce

Montáž nosné konstrukce proběhne na břehu na straně Velkých Hydčic. Tímto způsobem proběhne montáž hlavních oblouků, podélných nosníků mostovky a dolního i horního zavětrování lávky. Pro tyto části konstrukce budou pro konkrétní spoje zapotřebí připravené zinkované plechy a úhelníky a jako spojovací materiál nerezové závitové tyče o průměru 16 mm, a to v délkách svorníku od 160 mm do 195 mm v závislosti na

tloušťkách spojovaných dílců a plechu viz výpisy v montážní dokumentaci. Pro spoje svorníkového typu budou plošně použity kloboukové matky a velkoplošné podložky. Po provedení každého spoje dojde ke kontrole utahení všech matic. Pro montáž této části konstrukce budou dostačující aku rázové utahovačky o kroutících momentech 1350 – 1650Nm.

9.2.2 Usazení lávky na betonové podpory

Hmotnost dřevěných prvků hlavní konstrukce byla vyčíslena na 3588 kg, hmotnost ocelových plechů na 891 kg a hmotnost ocelových plechů včetně spojovacího materiálu na 1080 kg. Celkem bude tedy sestavená hlavní konstrukce vážit přibližně 4668 kg. Pro usazení sestavené hlavní konstrukce bude použit mobilní jeřáb Liebherr LTM1200-5.1 s maximální únosností 200 t při vyložení 3 m. Osa jeřábu bude umístěna rovnoběžně s řekou, a to přibližně 15–20 m od břehu řeky s tím, že jeřáb pro své rozložení potřebuje prostor 14 m na délku (rovnoběžně s tokem) a 8,5 m na šířku. Lávka bude montována vedle rozloženého jeřábu na straně dále od řeky. Dle zátěžového diagramu jeřábu (Obrázek 43) je tento typ a tonáž pro naši hmotnost břemene 4668 kg s potřebným vyložением na 35-40 m pro usazení lávky do osy řeky dostačující.



Obrázek 45: Graf možností vyložení a hmotnosti břemene (Cranelocator, 2020)

U hmotnosti břemene je nutno počítat s rezervou pro řetězové a popruhové zavěšení s hákem jeřábu okolo 500 kg (demolice.cz, 2020).

Konstrukce bude na jeřáb uvázána čtyřmi popruhy pro zamezení poškození dřeva, popruhy budou s jeřábovým hákem propojeny řetězy. Uvažovat se bude vždy za nosné oblouky, a to vně nejdelších svislých prutů vůči střednímu poli lávky. Lávka bude následně umístěna a ukotvena na připravená ložiska na železobetonových podporách.

9.2.3 Montáž pochozí vrstvy mostovky

Po přesném osazení lávky následuje montáž dubových latí pod pochozí vrstvu mostovky a následně montáž drážkovaných dubových fošen. Přesné rozmístění dubových latí a fošen proběhne dle montážní dokumentace (Příloha 1). Dubové latě 50 x 50 mm budou místy použity jako náhradní podkladní materiál pro fošny a rovněž jako střední podpora pochozí vrstvy mostovky. Jako náhradní podkladní materiál budou latě použity v místě styku svislých prutů a podélných nosníků, kde budou kotveny z boku do podélných nosníků. Děle budou použity v místech průchodu oblouků do podélných nosníků, kde budou kotveny do konstrukce zavětrování a ocelové konstrukce uložení lávky tzv. patky. Latě budou zpravidla kotveny nerezovými vruty 8 x 120 mm. Pod každou fošnu bude v místě styku s BSH podélnými nosníky vložen asfaltový pás šíře 120 mm, fošnou se následně překryje. Dubové fošny budou se spárami 20 mm kotveny nerezovými vruty 8 x 140 mm do BSH podélných nosníků a vruty 8 x 80 mm do pomocných dubových latí. Veškeré fošny i latě budou pro vruty předvrtávány vrtákem o průměru 6 mm. V místě spojů oblouků a podélných nosníků a v místech spojů svislých prutů s podélnými nosníky bude nutné přizpůsobit délku a zakončení dubových fošen kotoučovou, případně přímočarou pilou, začistit řez a před montáží opakovaně provést impregnaci a nátěr upravovaných míst. Na začátku a konci lávky je nutno dohlédnout na výškově a šířkově přesné napojení lávky na původní přístupové rampy.

9.2.4 Montáž konstrukce zábradlí

Konstrukce zábradlí bude kotvena po jednotlivých segmentech, které jsou rozděleny svislými pruty lávky. Kolmo na jednotlivé pruty budou do každého pole kotveny 2 nosné hranolky. Spodní hranolka (60 x 80 mm) bude od pochozí vrstvy

mostovky vzdálen 50 mm. Horní hrana horního hranolku (50 x 60 mm) bude 1040 mm nad pochozí vrstvou hranolku. Hranolky budou na svislé pruty kotveny úhelníky 60 x 60 x 60 mm, a to vruty Rapi-tec 5 x 40 mm. Na Vodorovné hranolky budou svisle kotveny výplně zábradlí po 145 mm osově. Konstrukce výplně bude na hranolky kotvena vruty 6 x 80 mm a 6 x 100 mm viz montážní dokumentace příloze č.1. Konstrukce zábradlí bude dokončena montáží dubového madla. V místě, kde oblouk prochází do konstrukce zábradlí a podélných nosníků je nutné zábradlí přerušit a oblouk z horní a dolní strany osadit pomocným hranolkem pro zachování možnosti kotvení výplně v celé délce lávky. Oblouk bude osazen pomocným hranolkem Madlo bude uloženo na horní hranolek a kotveno zesponu přes něj, aby nebyla narušena horní strana madla a nedocházelo k usazování vody a zranění chodců. Madlo je z výroby podélně seříznuto a vyspádováno tak, aby voda z něj byla odváděna směrem z lávky ven a volně stékala do řeky. Při montáži konstrukce zábradlí a madla dojde k jejich napojení na zábradlí stávajících přístupových ramp.

9.2.5 Dokončovací práce

Po dokončení konstrukce zábradlí a napojení na přístupové rampy už bude konstrukce potřebovat pouze pár dokončovacích úkonů a doladění detailů. Bude provedena konstrukční ochrana nosných oblouků formou oplechování jejich horní strany. Pod samotné oplechování bude umístěna strukturovaná dělicí rohož pro lepší odvětrání mezery mezi konstrukcí a oplechováním a zamezení přímému trvalému kontaktu plechu s konstrukcí. Jako oplechování bude použit titan-zinkový plech Rheinzink o rozvinuté šíři 330 mm a tloušťce 0,7 mm. Oblouky budou oplechovány po celé horní straně až po horní úroveň pochozí vrstvy mostovky. Součástí dokončovacích prací bude rovněž revitalizace přístupových ramp, a to formou nátěrů a výměny smrkové pochozí vrstvy za dubovou, která bude korespondující s novou lávkou. V závěru dojde k zatření případných oděrek a narušených částí dřevěných konstrukcí, ke kterým může při montáži dojít.

Montáž samotné konstrukce by 3-4 montážníkům měla při bezproblémovém průběhu zabrat přibližně 8-12 dní. Konečným krokem bude úklid staveniště a samotné předání díla obci Velké Hydčice.

10 Shrnutí, ekonomické zhodnocení

Materiál použitý na jakoukoliv konstrukci ovlivňuje většinu vlastností dané konstrukce, především mechanické vlastnosti, životnost konstrukce a estetický vzhled konstrukce. Pro konstrukci lávky ve Velkých Hydčicích byla zvolena kombinace lepeného lamelového dřeva, sušeného, hoblovaného modřínového dřeva a sušeného, hoblovaného dubového dřeva. V následujících podkapitolách jsou zhodnoceny vlivy zvolených materiálů na vlastnosti navržené konstrukce a na celkovou cenu díla v porovnání s původní ocelovou lávkou.

10.1 Vliv zvoleného materiálu na životnost lávky

Volba materiálu je rozhodujícím faktorem z hlediska dlouhodobé životnosti konstrukce. Pro konstrukci lávky ve Velkých Hydčicích byly zvoleny dřeviny se střední až vysokou mírou trvanlivosti a lepené lamelové dřevo. Jak modřínové, tak dubové dřevo, obě velmi dobře odolávají vysokým vlhkostem a povětrnostním vlivům. Přirozenou odolnost a životnost zvolených dřevin doplňuje jak konstrukční, tak chemická ochrana konstrukce. Konstrukční ochrana spočívá ve správném řešení detailů spojů, zakrývání čelních konců dílců, odvodnění a odvětrání částí, kde je předpoklad setrvání vody a zvýšené vlhkosti. Jako chemická ochrana byla navržena kombinace impregnačních látek a lazurové povrchové úpravy. Povětrnostními vlivy nejvíce namáhaná část konstrukce, tedy pochozí část mostovky, byla proto jako jediná část konstrukce navržena z dubového dřeva s tlakovou impregnací Wolmanit CX. Veškeré dřevěné dílce budou impregnovány formou nátěru. Celá konstrukce dostane finální nátěry tenkovrstvou lazurou ADLER Pullex Top Lasur

Dalšími z předpokladů pro dlouhou životnost jakékoliv konstrukce jsou její pravidelné prohlídky, na jejichž základě budou prováděny potřebné opravy poškozených prvků. Prohlídka konstrukce tohoto typu je prováděna zpravidla jednou ročně. Při prohlídce je kontrolován stav povrchových úprav, spojů, samotných konstrukčních prvků, utažení svorníků atd. První prohlídka proběhne již po dokončení výstavby z důvodu kolaudace. Prohlídky může provádět pouze osoba, která je držitelem Oprávnění k výkonu mostních prohlídek udělené Ministerstvem dopravy České republiky.

Vzhledem ke zvoleným materiálům a navrženým ochranám konstrukce je předpokládána životnost konstrukce 30-40 let.

10.2 Vliv zvolených materiálů na vzhled konstrukce

Volba materiálu má vždy vliv na celkový vzhled konstrukce. Zvolené dřeviny je možné libovolně natírat i lakovat. Volba povrchových úprav má obrovský vliv na následné změny konstrukce i po vizuálně stránce. Modřínové dřevo se z počátku vyznačuje žlutohnědou vrstvou běle a okrovým až červenohnědým jádrem. Jeho postupným vizuálním změnám, respektive postupnému šednutí úplně zabránit nelze. Dubové dřevo se vyznačuje žlutohnědou barvou, při styku s kovy může vyvolat jejich korozi a při kombinaci vlhkého prostředí a styku s kovy se na něm postupem času vytvoří modré skvrny. Smrkové dřevo použité pro výrobu lepeného lamelového dřeva se vyznačuje bílou až nažloutlou barvou. U smrkového dřeva jsou předpokládáné obdobné barevné změny jako u modřínového, a to postupné tmavnutí a šednutí povrchu.

Mezi nejvíce ovlivňující externí činitele po vizuální stránce patří UV záření, sních, déšť, vítr, teplota a další. Pro maximální ochranu a zpomalení degradace materiálu je klíčová volba nátěrového systému a jeho pravidelná údržba a obnova.

10.3 Ekonomické zhodnocení, porovnání s původní konstrukcí

Při výběru materiálu pro výstavbu jakékoliv konstrukce je vždy nutno uvážit i ekologické a ekonomické stránky volby. Ve výčtu vlastností, kterými dřevo disponuje, je jeho cena v porovnání ostatními používanými materiály naprosto bezkonkurenční. Dřevo je velmi lehce opracovatelné, jedná se o obnovitelný zdroj stavebního materiálu a pro jeho získání je spotřebováno mnohem méně energie než u ostatních surovin. Pokud je pro dřevo použita jednotka energie $=1$, srovnání s ostatními stavebními surovinami je následující:

- Stavební dřevo = 1
- Cement = 4
- Ocel = 24
- Hliník = 126

(ADMD, 2014).

Z hlediska údržby je dřevěná konstrukce, za předpokladu správného konstrukčního návrhu a ochrany konstrukce, nákladově srovnatelná s náklady na údržbu železobetonové nebo ocelové konstrukce obdobných rozměrů (Bell, 2008). Při dlouhodobém zhodnocení nákladů na údržbu přitom údržba dřevěné konstrukce v porovnání s železobetonovou vychází zhruba na polovinu. Dle Dutka (1966) lze zjednodušeně porovnat ceny mostů z nejčastěji používaných materiálů tímto způsobem:

- Dřevěný most – 1
- Ocelový most – 1,5
- Železobetonový most – 3,1.

10.3.1 Porovnání nákladů na realizaci s původní konstrukcí

Na základě informací dodaných od vedení obce Velké Hydčice byla v roce 2007 cena samotné stávající lávky bez přístupových ramp 2 170 000 Kč včetně DPH. Tato cena nezahrnuje projekční práce, ani přípravné práce na staveništi jedná se čistě o výrobu a montáž konstrukce lávky.

Pro porovnání byla vytvořena cenová kalkulace navržené konstrukce (Tabulka 4). Ceny materiálů a jejich opracování jsou převzaty z aktuálních ceníků firem v dřevozpracujícím a kovozpracujícím průmyslu a jejich dodavatelských firem (dodavatelé spojovacích materiálů, povrchových úprav, pilařské závody, stavebniny).

Při výpočtu cen opracování na CNC se cena odvíjí od celkové kubatury daného balení, které musí stroj opracovat. Pokud celkový čas obrábění přesáhne kubaturu daného balení, cena se odvíjí od celkového času obrábění. Čas obrábění převyšuje kubaturu zpravidla v případech, kdy je nutno opracovat mnoho menších dílců, dané úkony CNC vyžadují pomalejší posuvy nástrojů nebo jsou opracovávány hranoly děleny na mnoho menších dílců.

Použití vhodného jeřábu pro umístění lávky a jeho nacenění bylo konzultováno s firmami zabývajícími se bouracími a jeřábovými pracemi. Ceny za montáže jednotlivých částí a doby jejich provedení byly naceněny po konzultaci s montážními firmami dřevěných konstrukcí. Pro adekvátní porovnání cen obou lávek cena nezahrnuje demontáž původní lávky, ani dodatečné práce na přístupových rampách.

Cenová kalkulace-výroba a montáž lávky Velké Hydčice

Nosná konstrukce materiál, výroba:	MJ	poč. MJ	cena za MJ	Celkem
Oblouky BSH GI28 - 4 ks, vč. CNC:	m3	4,5	37 050,00 Kč	166 725,00 Kč
Přímé prvky BSH GI28, vč. CNC:	m3	4	32 950,00 Kč	131 800,00 Kč
Doprava z Rakouska:	pol.	1	61 050,00 Kč	61 050,00 Kč
Řezané MO dřevo nesusušené:	m3	1,5	9 300,00 Kč	13 950,00 Kč
Sušení MO:	m3	1,5	1 600,00 Kč	2 400,00 Kč
Hoblování MO:	m3	1,5	1 500,00 Kč	2 250,00 Kč
CNC modřínu-řezání + vrtání:	m3	1,5	3 200,00 Kč	4 800,00 Kč
Dlabání modřinových prvků:	hod	16	350,00 Kč	5 600,00 Kč
1 + 2 nátěry Adler:	m2	213	252,00 Kč	53 676,00 Kč
Ocelové zinkované prvky:	kg	891	85,00 Kč	75 735,00 Kč
Nerezový spojovací materiál:	pol.	1	28 980,00 Kč	28 980,00 Kč
Elastomer - 4 ks:	pol.	1	13 600,00 Kč	13 600,00 Kč

Nosná konstrukce Montáž:	MJ	poč. MJ	cena za MJ	Celkem
Doprava lidí:	km	200	30,00 Kč	6 000,00 Kč
Doprava materiálu:	km	100	70,00 Kč	7 000,00 Kč
Skládání materiálu HR:	pol.	10	150,00 Kč	1 500,00 Kč
Pomocný jeřáb:	dny	2	11 500,00 Kč	23 000,00 Kč
Jeřáb Liebherr-200 t:	Pol.	1	48 500,00 Kč	48 500,00 Kč
Montáž nosné konstrukce KCE:	dny	4	16 200,00 Kč	64 800,00 Kč

711 366,00 Kč

Pochozí vrstva most. materiál, výroba:	MJ	poč. MJ	cena za MJ	Celkem
Dubové fošny 50x 40x2280 mm:	m3	6	22 450,00 Kč	134 700,00 Kč
Dubové latě 50 x 50 mm:	m3	0,5	23 450,00 Kč	11 725,00 Kč
Hoblování + oprava:	m3	6,5	4 000,00 Kč	26 000,00 Kč
Sušení:	m3	6,5	1 600,00 Kč	10 400,00 Kč
Hoblování před CNC:	m3	6,5	1 500,00 Kč	9 750,00 Kč
CNC-Vrtání a kapování:	m3	6,5	3 200,00 Kč	20 800,00 Kč
Tlaková impregnace:	m3	6,5	2 200,00 Kč	14 300,00 Kč
1 + 2 nátěry Adler:	m2	205	252,00 Kč	51 660,00 Kč
Nerezový spojovací materiál:	pol.	1	24 650,00 Kč	24 650,00 Kč
Asfaltové pásy:	pol.	1	3 450,00 Kč	3 450,00 Kč

Pochozí vrstva mostovky Montáž:	MJ	poč. MJ	cena za MJ	Celkem
Doprava lidí:	km	100	30,00 Kč	3 000,00 Kč
Doprava materiálu:	km	50	70,00 Kč	3 500,00 Kč
Skládání materiálu HR:	pol.	6	150,00 Kč	900,00 Kč
Montáž pochozí vrstvy:	m2	75	365,00 Kč	27 375,00 Kč
Přesun hmot:	pol.	1	3 000,00 Kč	3 000,00 Kč

314 835,00 Kč

Konstrukce zábradlí materiál, výroba:	MJ	poč. MJ	cena za MJ	Celkem
Modřínové dřevo:	m3	4,5	9 300,00 Kč	41 850,00 Kč
Sušení:	m3	4,5	1 600,00 Kč	7 200,00 Kč
Hoblování:	m3	4,5	1 500,00 Kč	6 750,00 Kč
CNC:	hod	12,5	3 200,00 Kč	40 000,00 Kč
1 + 2 nátěry Adler:	m2	225	252,00 Kč	56 700,00 Kč
Nerezové vruty:	pol.	1	13 250,00 Kč	13 250,00 Kč

Konstrukce zábradlí montáž:	MJ	poč. MJ	cena za MJ	Celkem
Doprava lidí:	km	200	30,00 Kč	6 000,00 Kč
Doprava materiál:	km	100	70,00 Kč	7 000,00 Kč
Skládání HR:	pol.	4	150,00 Kč	600,00 Kč
Montáž zábradlí:	dny	4	16 200,00 Kč	64 800,00 Kč
Přesun hmot:	pol.	1	5 000,00 Kč	5 000,00 Kč

179 350,00 Kč

Oplechování oblouků - mat., mtž.:	MJ	poč. MJ	cena za MJ	Celkem
Doprava lidí a materiálu:	km	100	70,00 Kč	7 000,00 Kč
Strukturovaná dělicí vrstva:	m2	58	60,00 Kč	3 480,00 Kč
Pás-pozink, rš 330 mm, tl.1 mm:	bm	58	160,00 Kč	9 280,00 Kč
Rh-zink oplechování, rš.330 mm, tl.0,7:	bm	58	320,00 Kč	18 560,00 Kč
Montáž dělicí vrstvy:	m2	58	35,00 Kč	2 030,00 Kč
Montáž-Zatahovací pás-pozink:	bm	58	95,00 Kč	5 510,00 Kč
Mtž. oplechování-rheinzink(titanzinek):	bm	58	150,00 Kč	8 700,00 Kč

47 560,00 Kč

Celkem bez DPH:	1 253 111,00 Kč
Celkem s DPH:	1 516 264,31 Kč

Tabulka 4: Cenová kalkulace navržené lávky (Autor DP)

Při porovnání cen je na první pohled zřejmé, že dřevěná lávka je nákladově levnější i při použití velmi kvalitních, trvanlivých materiálů a povrchových úprav. Nutno samozřejmě přihlídnout k faktu, že porovnáváme cenu realizace ocelové lávky z roku 2007 a nabídkovou cenu na dřevěnou lávku z roku 2020, přičemž rozsahy dodávek jsou téměř totožné. V dnešní době, kdy je kladen obrovský důraz na ekologičnost jednotlivých odvětví průmyslu, respektive jejich co možná nejmenší uhlíkovou stopu, jeví se dřevěné konstrukce obecně jako vhodná náhrada oceli a železobetonu, a to tam, kde to umožňují

podmínky a požadavky daného díla a lokality. Je tomu především proto, že výroba dřevěných konstrukcí obecně je oproti železobetonovým a ocelovým variantám dané konstrukce mnohem méně energeticky zatěžující. Dalším nesporným kladem oproti zejména železobetonovým konstrukcím je samotná rychlost přípravy a výstavby. Při výrobě a montáži dřevěné konstrukce samotné nás nezdržují mokré procesy, jako je tomu u staveb s použitím betonu. V neposlední řadě je nutno brát v potaz samotnou rychlost výstavby konstrukce, která je, stejně jako výroba konstrukce, závislá na dobře provedené přípravě výroby a montáže. Výroba i montáž mohou za daných okolností proběhnout během několika týdnů, a to za použití mnohem menších a levnějších manipulačních prostředků než u oceli a betonu. Toto je pouze výtah základních faktorů, které ovlivňují relativně příznivou cenu dřevěných konstrukcí v porovnání s ocelovými a železobetonovými variantami. Ovšem jedná se o ty hlavní argumenty, proč by mělo podobných konstrukcí v budoucnu jen přibývat, což se v posledních letech a v současné době stává skutečností.

11 Závěr

Hlavními účely práce bylo na základě teoretických poznatků vytvořit konstrukční návrh dřevěné konstrukce lávky, jakožto náhradu ocelové lávky pro pěší a cyklisty v konkrétní lokalitě, a především potom vytvoření 3D modelu připraveného pro přímý export dat do CNC Hundegger K2i pro přesné obrobení všech prvků konstrukce, včetně vrtání, dlabů apod a následně vytvoření dokumentace pro sestavení konstrukce neboli montážní dokumentace včetně všech potřebných výpisů a specifikací materiálů.

Lokalita současné lávky, která by měla být nahrazena navrženou dřevěnou konstrukcí, je obec Velké Hydčice, která leží při břehu řeky Otavy mezi Sušicí a Horažďovicemi. Současnou lávku by nahradila z hlediska přesunu pěších a cyklistů. Lávka je umístěna přes řeku Otavu, mezi obcemi Velké a Malé Hydčice. Funguje jako součást frekventované cyklostezky a pro místní obyvatele je v dnešní době již nepostradatelná. Lávka na tomto místě představuje pro mnoho cestujících lidí několikakilometrovou úsporu při cestě do zaměstnání či za rodinou.

Dle charakteristik konkrétního místa umístění byl zvolen vhodný typ konstrukce a použité materiály pro výrobu. Zvolený typ konstrukce v kombinaci s dřevěnými materiály, na rozdíl od současné modré, ocelové konstrukce, nepůsobí rušivým dojmem

vůči svému přírodnímu okolí. Naopak do něj zapadá a jen umocňuje celkový dojem z místa. Z hlediska konstrukčního návrhu a konstrukčních detailů lze lávku považovat za vyhovující.

Po zhodnocení podmínek a požadavků dané lokality byla zvolena oblouková konstrukce lávky se spodním uložením mostovky. Na konstrukci oblouků a zbylých prvků hlavní nosné konstrukce bylo zvoleno lepené lamelové dřevo pevnostní třídy Gl28 homogenního průřezu v pohledové kvalitě. Pro prvky zavětrování a zábradlí bylo zvoleno sušené a hoblované modřínové dřevo pevnostní třídy C24 a pro pochozí vrstvu mostovky tlakově impregnované, sušené a hoblované dubové fošny třídy D30. Z původní konstrukce zde zůstanou pouze a železobetonové opěry a přístupové rampy pro pěší a cyklisty, které projdou nutnou revitalizací.

Výsledkem práce je výrobní dokumentace ve formě 3D modelu a navazujících výstupů pro CNC obráběcí centrum Hundegger K2i, cenová kalkulace výroby a montáže navržené konstrukce pro porovnání s náklady na výstavbu původní ocelové konstrukce a montážní dokumentace pro sestavení jednotlivých segmentů lávky a její uložení na místo. Montážní dokumentace včetně technické zprávy se nachází v příloze diplomové práce.

Výsledky práce lze potenciálně využít pro skutečnou náhradu současné ocelové lávky. Nová, dřevěná lávka by do zdejší krajiny zapadala o poznání lépe a náklady na její vyhotovení a následnou údržbu by byly při tomto provedení nižší, maximálně srovnatelné s pravidelně přetíranou ocelovou lávkou s rozpadající se smrkovou mostovkou. Vedení obce bude s výsledky práce detailně seznámeno a v případě budoucího zájmu lze diplomovou práci použít jako určitý podklad pro projekční práce na budoucí lávce a následně jako možná inspirace k volbě materiálů, spojů, způsobu výroby a montáži nové lávky.

Záměrem práce bylo poukázat na fakt, že pro konstrukce umístěné v přírodě jsou dřevěné konstrukce velmi dobrou volbou z mnoha důvodů. Zejména při současné oblibě napojování městské infrastruktury na příměstské oblasti, a to právě formou budování a opravy cyklistických a turistických stezek. Pokud navíc přihlídneme ke stále se zvyšujícím požadavkům na snižování uhlíkové stopy ve většině průmyslových odvětvích, kdy dřevo samo o sobě je naakumulované CO₂, lze právě dřevěné konstrukce s relativně nenáročnou výrobou a možností jejich ekologické odbouratelnosti považovat za výbornou volbu.

Seznam literatury a použitých zdrojů

Knihy

- BARTOŠ, Luděk. *Navrhování komunikací pro cyklisty: TP [technické podmínky] 179* [online]. Mariánské Lázně: Koura, 2006, 112 s. [cit. 2019-12-27]. ISBN 80-902-5273-7. Dostupné z: <http://www.pjpk.cz/TP%20179.pdf>
- BLASS, Hans Joachim. *Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí: obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby: komentář k ČSN 73 1702:2007*. Překlad Bohumil Koželouh. Praha: ČKAIT, 2008, 227 s. ISBN 978-80-87093-73-3.
- BÖHM, Martin, Jan REISNER a Jan BOMBA. *Materiály na bázi dřeva* [online]. 2012 [cit. 1.12.2019]. ISBN 978-80-213-2251-6. Dostupné z: <http://drevene-materialy.fld.czu.cz>
- ČUNDERLÍK, Igor. *Štruktúra dreva*. Technická univerzita vo Zvolene, 2009. ISBN 978-80-228-2061-5.
- DUDAS, Juraj a Stanislav JOCHIM. *Konstruktívne drevené materiály pre drevené stavebné konštrukcie a výrobky* [online]. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2007 [cit. 2020-05-18].
- DUTKO, Pavel et al. *Drevené konštrukcie*. Bratislava: SVTL, 1966, 308 s. DT624.011.1.
- HÁJEK, Václav. *Stavíme ze dřeva*. Praha: Sobotáles, 1997, 153 s. ISBN 80-859-2044-1.
- KARMAZÍNOVÁ, Marcela, Karel SÝKORA a Milan ŠMAK. VUT. *Konstrukce a dopravní stavby 2004: Konstrukce-základní typy konstrukcí, konstrukční řešení staveb, mosty*. 42 s. [cit. 2020-02-03]. Studijní opora.
- KOŽELOUH, Bohumil. *Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5: STEP 1 navrhování a konstrukční materiály*. Zlín: KODR, 1998, 1 svazek v různém stránkování. Autorizovaný překlad z originálního anglického vydání "Timber Engineering STEP 1". ISBN 80-238-2620-4.
- KOŽELOUH, Bohumil. *Dřevěné konstrukce podle eurokódu 5: STEP 2 navrhování detailů a nosných systémů*. Vyd. 1. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2004, 401 s. Autorizovaný překlad z originálního anglického vydání " Timber Engineering STEP 2". ISBN 80-867-6913-5.
- KUKLÍK, Petr a Anna KUKLÍKOVÁ. *Navrhování dřevěných konstrukcí: příručka k ČSN EN 1995-1*. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010, 140 s. ISBN 978-80-87093-88-7.
- KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce*. Praha: ČKAIT, 2005, 172 s. ISBN 80-86768-72-0.
- METTEM, Christopher J. *Timber bridges*. Abingdon, Oxon: Spon Press, 2011, 176 s. ISBN 978-041-5577-960.
- PTÁČEK, Petr. *Ochrana dřeva*. Praha: Grada, 2009, 95 s. ISBN 978-80-247-2326-6.
- STRAKA, Bohumil. *Navrhování dřevěných konstrukcí*. Brno: CERM, 1996, 120 s. ISBN 80-720-4015-4.
- STUDNIČKA, Jirí a Vladimír MEDŘICKÝ. *Kovové a dřevěné konstrukce*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993, 202 s. ISBN 80-010-0984-X.

THELANDERSSON, *Timber engineering*. Editor Sven THELANDERSSON, editor Hans J. LARSEN. Chichester: Wiley, 2003. ISBN 9780470844694.

Příručky

AUGUSTIN, Manfred a. Materiály. In: *Příručka 1: Dřevěné konstrukce* [online]. 2008, s. 26-36 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook_1_CZ_final.pdf

AUGUSTIN, Manfred b. Lepidla. In: *Příručka 1: Dřevěné konstrukce* [online]. 2008, s. 37-45 [cit. 2020-01-22]. Dostupné z: http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook_1_CZ_final.pdf

BELL, Kolbein. Dřevěné mosty. In: *Příručka 1: Dřevěné konstrukce* [online]. 2008, s. 207-226 [cit. 2019-01-12]. Dostupné z: http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook_1_CZ_final.pdf

KOTÁSKOVÁ, Pavla a Petr HRŮZA. Mosty a lávky v krajinném prostředí pro rekreační a turistické využívání. In: *Rekreace versus ochrana přírody a krajiny* [online]. 2013, s. 30-34 [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: http://konev.upol.cz/repository/news/priloha_5-prispevky.pdf

KUKLÍK, Petr a. Historie dřevěných konstrukcí. In: *Příručka 1: Dřevěné konstrukce* [online]. 2008, s. 1-12 [cit. 2020-01-22]. Dostupné z: http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook_1_CZ_final.pdf

KUKLÍK, Petr b. Požární odolnost dřevěných konstrukcí. In: *Příručka 1: Dřevěné konstrukce* [online]. 2008, s. 233-239 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook_1_CZ_final.pdf

MARYNOWICZ, Andrzej. Trvanlivost dřevěných konstrukcí. In: *Příručka 1: Dřevěné konstrukce* [online]. 2008, s. 227-232 [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook_1_CZ_final.pdf

Normy

ČSN 73 6200. *Mosty-Terminologie a třídění*. Praha: ÚNMZ, 2011, 48 s.

ČSN 73 6201. *Projektování mostních objektů*. Praha: Český normalizační institut, 2008, 76 s.

ČSN EN 14080. *Dřevěné konstrukce-Lepené lamelové dřevo a lepené rostlé dřevo: Požadavky*. Praha: ÚNMZ, 2013, 88 s.

ČSN EN 1995-1-1. *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí: Část 1-1: Obecná pravidla-Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006, 114 s.

ČSN EN 1995-1-2. *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí: Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru*. Praha: Český normalizační institut, 2006, 68 s.

ČSN EN 1995-2 (736212). *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí-Část 2: Část Mosty. Platí pro navrhování konstrukčních částí mostů, tj. konstrukčních prvků důležitých pro spolehlivost celého mostu nebo jeho hlavních částí, které jsou vyrobeny ze dřeva a jiných materiálů na bázi dřeva*. Praha: Český normalizační institut, 2006, 32 s

ČSN EN 335-1. *Trvanlivost dřeva a materiálů na jeho bázi. Definice tříd. Ohrožení biologickým napadením.: Část 1: Všeobecné zásady*. Praha: Český normalizační institut, 1994, 8 s.

ČSN EN 335-2. *Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva. Definice tříd použití: Část 2: Aplikace na rostlé dřevo*. Praha: Český normalizační institut, 2007, 16 s.

ČSN EN 338. *Konstrukční dřevo: Třídy pevnosti*. Praha: ÚNMZ, 2010, 12 s.

Internetové zdroje

ADLER ČESKO s.r.o. *ADLER – Barvy | Laky | Mořidla-Adler Česko s.r.o. [online]*. [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: <https://www.lakyadler.cz/produkty>

CUZK. *Nahlížení do katastru nemovitostí [online]*. [cit. 2020-02-13]. Dostupné z: <http://nahlizeniidokn.cuzk.cz/>

CZSO. *Český statistický úřad: Podnebí-kraj [online]*. 2012 [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <http://www.czso.cz/>

DEMOLICE. *Pavel Švestka, s.r.o. | Demolice, Zemní práce, Jeřábové práce, Nadrozměrná přeprava, Oprava, Recyklace [online]*. Dostupné z: <http://www.demolice.cz/nase-technika/mobilni-jeraby/>

GEOFOND. *Česká geologická služba: Mapový archiv [online]*. 2011 [cit. 2020-02-05]. Dost. z: <http://www.geology.cz/extranet/mapy/archiv>

HANS HUNDEGGER AG – *Spezialist für Abbundmaschinen, Zuschnittautomaten, Hobelmaschinen, Handlingsysteme: Abbundmaschinen. [online]* [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <http://www.hundegger.de/de/maschinenbau/produkte/abbundmaschinen.html>

HISTORICKÉ CESTY. *Vývoj historických cest ve světě*. In: *Historické cesty [online]*. 2013 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <http://www.historicke-cesty.cz/historicke-cesty/vyvoj-historickych-cest-ve-svete/#10>

KOTIŠ s.r.o. - *CNC zpracování plechů, profilů a trubek [online]*. Dostupné z: <http://www.kotis-sro.cz/2d-laser>

LIEBHERR. *Mobile cranes – Liebherr. [online]*. Dostupné z <https://www.liebherr.com/en/cze/products/mobile-and-crawler-cranes/mobile-cranes/mobile-cranes.html>

NOVEMESTONM. *Lávky přes řeku Metuji. Nové Město nad Metují [online]*. [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <https://www.novemestonm.cz/turista/zajimavosti/lavky-pres-reku-metuji/>

PILA MARTINICE. *Úvod/ Modřínové dřevo [online]*. Copyright 2020 PILA MARTINICE s.r.o., [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: http://www.modrinovedrevo.cz/tlakova_impregnace

Metodické pomůcky

BOLDIŠ, Petr. *Citace a citování*. In: *online+. 2004 *cit. 2014-04-06+. Dostupné z: <http://www.fld.czu.cz/cs/?r=3332&i=16049>

ČSN 01 6910. *Úprava písemností zpracovaných textovými editory*. Praha: ÚNMZ, 2007, 48 s.

ČSN ISO 690. *Informace a dokumentace: Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: ÚNMZ, 2011, 40 s.

Internetové zdroje obrázků a tabulek

ANTIQUA ROMA al Día na Twitteru: "#SabíasQue el Puente Sublicio era el más antiguo de Roma. Era un puente sagrado de madera. Fue construido en tiempos del rey Anco Marcio...

<https://t.co/eOSND48JKy>". *Twitter. It's what's happening*. [online]. Copyright © 2020 Twitter [cit. 18.03.2020]. Dostupné z: https://twitter.com/antigua_roma/status/842367635593531394?lang=hr

WIKIPEDIA. Trajan's Bridge-Wikipedia. [online]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Trajan%27s_Bridge

TRIPADVISOR: [online]. Copyright © 2020 TripAdvisor LLC Všechna práva vyhrazena. [cit. 18.03.2020]. Dostupné z: https://www.tripadvisor.cz/LocationPhotoDirectLink-g188064-d542493-i48258638-Chapel_Bridge-Lucerne.html

RENNERITALIA. Il Ponte di Bassano: un gioiello di architettura lignea. *Vernice per legno Renner Italia, vernici ad acqua, impregnanti*. [online]. Copyright © 2020 Renner Italia S.p.A. [cit. 18.03.2020]. Dostupné z: <https://www.renneritalia.com/ponte-bassano-un-gioiello-architettura-lignea/>

KARIN BUCHER. Grubenmann brücken. In: *Karin Bucher: Die Grubenmannsammlung* [online]. [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: <http://www.karinbucher.ch/projekte/ausstellungskonzepte/diegrubenmannsammlung-2004/>

RESEARCHGATE. Model of the main structural members of the timber bridge over the... | Download Scientific Diagram. *ResearchGate | Find and share research* [online]. Copyright © 2008 [cit. 18.03.2020]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Model-of-the-main-structural-members-of-the-timber-bridge-over-the-Rhine-river-e-in_fig2_309293735

STRUCTURE magazine | The Colossus of the Schuylkill River. *STRUCTURE magazine* | [online]. Dostupné z: <https://www.structuremag.org/?p=2622>

ARCHIWEB. Tři sta let starý dřevěný most blízko Pernštejna se opraví. *archiweb.cz* [online]. Copyright © Archiweb, s.r.o. 1997 [cit. 18.03.2020]. Dostupné z: <https://www.archiweb.cz/en/n/home/tri-sta-let-stary-dreveny-most-blizko-pernstejna-se-opravi>

JIZNI CECHY. Rechle v Lenoře | Jižní Čechy. *Jižní Čechy* [online]. Copyright © 2020 [cit. 18.03.2020]. Dostupné z: <https://www.jiznicechy.cz/turisticke-cile/802-rechle-v-lenore>

TURISTIKA. Dřevěná krytá lávka v Pekle-Most | Turistika.cz. *Pro větší zážitek z cest a výletů | Turistika.cz* [online]. Copyright © 2007 [cit. 18.03.2020]. Dostupné z: <https://www.turistika.cz/mista/drevena-kryta-lavka-v-pekles/detail>

IDNES. Dřevěná lávka Modrava – Idnes.cz [online]. Dostupné z: http://www.idnes.cz/plzen/zpravy/sumava-nove-lavky-turistika.A140711_143516_plzen-zpravy_pp

NORDIC STRUCTURES | nordic.ca | Engineered Wood | Projects | Structures | Montmorency Forest Bridge. *Nordic Structures | nordic.ca | Engineered Wood* [online]. Copyright © [cit. 18.03.2020]. Dostupné z: <https://www.nordic.ca/en/projects/structures/montmorency-forest-bridge>

DREVO PRO ŽIVOT. Dřevěná stavba roku | Lávka Nový Bor. *Nadace dřevo pro život* [online]. Copyright © Nadace dřevo pro život [cit. 18.03.2020]. Dostupné z: <https://www.drevoprozivot.cz/drevena-stavba-roku/drevene-konstrukce-realizace-2018/lavka-novy-bor>

STAVBAWEB. Stavbaweb.cz – Dřevěná lávka přes Studenou Vltavu. *Stavbaweb.cz – odborný portál o architektuře a stavebnictví* [online]. Dostupné z: <https://www.stavbaweb.cz/devna-lavka-pes-studenou-vltavu-13639/clanek.html>

SLOVACKY DENIK. Podívejte se na lávku přes silnici u motorestu Samota-Slovácký deník. *Slovácký deník-informace, které jsou vám nejbliž* [online]. Copyright © [cit. 18.03.2020]. Dostupné z: https://slovacky.denik.cz/zpravy_region/drevena-lavka-pres-silnici-v-chribech-otevrena.html

STAVBAWEB. Stavbaweb.cz – Visutá lávka přes Sázavu. *Stavbaweb.cz – odborný portál o architektuře a stavebnictví* [online]. Dostupné z: <https://www.stavbaweb.cz/visuta-lavka-pes-sazavu-15519/clanek.html>

WIKIMEDIA. File: Benešov-u-Semil visutá-lávka 8085.JPG - Wikimedia Commons. [online]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bene%C5%A1ov-u-Semil_visut%C3%A1-1%C3%A1vka_8085.JPG

STAVEBNI KOMUNITA. Tesařské spoje dřevěných konstrukcí - stavebnikomunita.cz. *stavebnikomunita.cz - Pro všechny, kteří projektují nebo chtějí lépe bydlet* [online]. Copyright © 2020 [cit. 18.03.2020]. Dostupné z: <http://stavebnikomunita.cz/profiles/blogs/tesarske-spoje-drevenych-konstrukci>

LEPENE DREVO. Lepené trámy modřín. Lepené trámy, konstrukční hranoly, BSH. *Lepené trámy a jejich cena.Konstrukční hranoly.Konstrukční hranol* [online]. Dostupné z: <https://lepene-drevo-tramy-nosniky-hranoly-vazniky.cz/lepene-tramy/>

IDNES CB. *Dřevěný obloukový most překlenul Studenou Vltavu. Je nejdelší v Česku* [online]. Dostupné z: http://www.idnes.cz/ceske-budejovice/zpravy/novy-most-pres-studenou-vltavu.A131213_181621_budejovice-zpravy_jkr

MAPY CZ. Mapy.cz. *Mapy.cz* [online]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=13.6757040&y=49.3078389&z=14&source=muni&id=1350>

CRANE LOCATOR. All terrain mobile crane Liebherr LTM 1200-5.1 look on the map using Crane-Locator.com. *All heavy-lifting & transport equipment on the map with Crane-Locator.com* [online]. Copyright © Crane [cit. 18.03.2020]. Dostupné z: <https://crane-locator.com/equipment/all-terrain-mobile-crane/liebherr/ltm-1200-5-1/851/>

Seznam příloh

Příloha č. 1:

Technická zpráva: D.1.1 Architektonicko-stavební řešení

Montážní dokumentace

Seznam výkresů:

- 1.0 – 3D model s popisem jednotlivých částí lávky
- 2.0 – Montážní plán sestavení hlavní konstrukce lávky
- 2.1 – 3D model hlavní nosné konstrukce a zavětrování I.
- 2.2 – 3D model hlavní nosné konstrukce a zavětrování II.
- 3.0 – Montážní plán sestavení dolního ztužení lávky
- 4.0 – Montážní plán sestavení horního ztužení lávky
- 5.0 – Výkres klíčových detailů – detaily A, B, C
- 6.0 – Montážní plán pochozí vrstvy mostovky
- 6.1 – 3D model celé lávky – montáž mostovky a zábradlí I.
- 7.0 – Montážní plán zábradlí lávky
- 7.1 – 3D model celé lávky – montáž mostovky a zábradlí II.